

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені Ігоря Сікорського»**

(повне найменування вищого навчального закладу)

**ІНЖЕНЕРНО - ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

**Кафедра автоматизації хімічних виробництв**

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ А.І.Жученко

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р

**Дипломний проект**  
**на здобуття ступеня бакалавра**

з напрямку підготовки **6.050202 Автоматизація та комп'ютерно -**  
**інтегровані технології**

на тему: Автоматизація процесу виробництва нітриту калію

Виконав: студент 4 курсу ,групи ЛА-51

\_\_\_\_\_ Фалінський Олег Ігорович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник асистент Бородін Валерій Іванович

( посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант Охорона праці к.т.н. Ковтун І М

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що в цьому дипломному  
проекті немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ - 2019 року



**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інженерно-хімічний факультет  
(повна назва)

Кафедра автоматизації хімічних виробництв  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 6.050502 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ А.І.Жученко  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на дипломний проект студенту**  
Фалінський Олег Ігорович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Автоматизація процесу виробництва нітриту калію

керівник проекту асистент Бородин Валерій Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «12» травня 2019 р. №1525

2. Термін подання студентом проекту \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проекту воду у реакторі нагрівають до 80-90°C, випарювання проводиться за температури 110°C, концентрування відбувається за температури 136°C, кристалізація 25..30°C.

4. Зміст пояснювальної записки Аналіз процесу виробництва нітриту калію; розробка схеми автоматизації виробництва нітриту калію; математичне моделювання випарного реактора; синтез та дослідження системи керування; охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема автоматизації процесу виробництва нітриту калію, принципова електрична схема дистанційного керування електродвигунами, слайди презентації.

6. Консультанти розділів проекту\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Ковтун І М доцент		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз процесу виробництва нітриту калію	31.03.2019	
2	Розробка схеми автоматизації	10.04.2019	
3	Розробка математичної моделі випарного реактора	22.04.2019	
4	Дослідження статичного і динамічного режимів об'єкта керування	25.04.2019	
5	Синтез та дослідження системи	29.04.2019	
6	Охорона праці	03.05.2019	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Фалінський О І

\_\_\_\_\_  
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Бородін В І

\_\_\_\_\_  
(ініціали, прізвище)

\_\_\_\_\_  
\* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

## Реферат

Дипломний проект виконано на тему «Автоматизація процесу виробництва нітриту калію». Проект складається з 2 аркушів креслень та пояснювальної записки. На кресленнях зображено: схему автоматизації, принципову електричну схему дистанційного керування електродвигунами.

Метою проекту є забезпечення функціонування виробництва нітриту калію за рахунок впровадження засобів автоматизації та розробки системи керування.

Розроблена система керування та схема автоматизації зможуть забезпечити:

- підвищення рівня автоматизації процесу;
- зменшення трудових, економічних та інших ресурсів на виробництво;
- підвищить надійність і безпеку на виробництві

В пояснювальній записці виконано аналіз технологічного стану виробництва, розроблено рішення з автоматизації, отримано математичну модель випарного реактора, розраховано систему керування випарним реактором. Досліджено перехідні процеси в замкнутій системі з ПІ-регулятором, отримано параметри регулятора, що забезпечують задані значення тривалості перехідного процесу та рівень перерегулювання.

Виконано аналіз основних вимог з охорони праці.

*Ключові слова:* нітрит калію, автоматизація, ПІ-регулятор, система керування.

## Abstract

The diploma project was executed on the theme "Automation of the production process of potassium nitrite". The project consists of 2 sheets of drawings and an explanatory note. The drawings show: the scheme of automation, the principle electric circuit of remote control of electric motors.

The purpose of the project is to ensure the functioning of the production of potassium nitrite through the introduction of automation and development of the control system.

The developed control system and automation scheme can provide:

- increasing the level of process automation;
- reduction of labor, economic and other resources for production;
- Increase reliability and safety in the production

In the explanatory note, an analysis of the technological state of production was made, an automation solution was developed, a mathematical model of the evaporative reactor was obtained, and an evaporator control system was designed. Transient processes are investigated in a closed system with a PI regulator, and parameters of the regulator are provided that provide the set values of the duration of the transition process and the level of overregulation.

An analysis of the basic requirements for occupational safety has been carried out.

*Keywords:* potassium nitrite, automation, PI controller, the control system

## Зміст

Вступ.....	4
1. Аналіз виробництва нітриту калію.....	6
1.1. Фізичні і хімічні властивості нітриту калію.....	6
1.2. Методи отримання нітриту калію .....	9
1.3. Опис виробництва нітриту калію конверсійним методом.....	12
1.4. Постановка задач автоматизації .....	14
2. Математичне моделювання випарного реактора.....	15
2.1. Моделювання статичного режиму .....	15
2.2. Моделювання динамічного режиму.....	20
3. Синтез та дослідження системи керування .....	24
3.1. Аналіз показників якості системи керування.....	24
3.2. Розрахунок параметрів регулятора методом Циглера-Нікольса.....	24
5.4. Розрахунок та моделювання системи керування в Simulink .....	26
5.5. Дослідження стійкості системи керування.....	34
4. Автоматизація процесу виробництва нітриту калію .....	37
2.2. Аналіз основних параметрів виробництва .....	37
2.3. Розробка схеми автоматизації.....	41
2.4. Розробка схеми керування електродвигунами.....	45
5. Охорона праці.....	47
6.1. Повітря робочої зони .....	47
6.2. Виробниче освітлення .....	51
6.3. Електробезпека.....	51
6.4. Пожежна безпека.....	53

					ДП 5122.00.000 ПЗ		
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб		Фалінський О. І.			Автоматизація процесу виробництва нітриту калію	Літ.	Арк.
Перев		Бородін В. І.					2
					Пояснювальна записка	НТУУ “КПІ ім Ігоря Сікорського” ІХФ ЛА-51	
Н.Контр.		Кваско Е. М.					
Затв.		Жученко А. І.					
						Аркушів	56

Висновки .....	55
Література .....	56

Додаток Д1. Специфікація устаткування, виробів та матеріалів

					ДП 5122.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		3



## Вступ

Метою дипломного проекту виступає вивчення процесу одержання нітриту калію, який також відомий під назвами:

«Potassium nitrite»;

«Калій азотислокислий»;

«E249» .

Хімічна формула даного продукту  $\text{KNO}_2$ . Нітрит калію використовується як поліпшувач забарвлення і консервант у харчовій промисловості, в світі даний продукт відносять до харчових добавок. Для кращого розуміння теми дипломного проекту, потрібно зрозуміти : Що ж таке харчові добавки ? Чи безпечні вони для людського організму ? Причини їх широкого використання?

Харчові добавки це синтетичні, хімічні а також натуральні речовини які вводяться в продукти, для того щоб надати їм привабливого зовнішнього вигляду, або збільшити термін придатності.

Харчові добавки використовуються для надання продуктам більш апетитного вигляду, смаку і запаху. Спочатку в якості добавок використовувалися природні компоненти, виготовлені з натуральної сировини. З розвитком хімічної промисловості харчові добавки стали проводитися штучним шляхом. Почали виготовляти такі синтетичні добавки, як барвники, консерванти, згущувачі, стабілізатори, антиокислювачі. Окрім харчової промисловості нітрит калію також використовують для виробництва азо-барвників.

Необхідність застосування харчових добавок полягає в підвищенні конкурентоспроможності продукції. У сучасному світі людині дуже важко стежити за харчуванням через брак часу, відсутність бажання або просто засобів. Багато людей не можуть дозволити собі екологічно чисті продукти без харчових добавок і ГМО. Цьому сприяло і загальна зміна способу життя. У наш час високих технологій величезна кількість людей зосередилося в мегаполісах. Швидко зростає кількість населення на планеті. Все це спровокувало розвиток

					ДП 5122.00.000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нових способів, як обробки, так і розподілу продуктів харчування, внаслідок чого харчові добавки стали застосовуватися все більше і в результаті стали незаміними. Та чи безпечні вони, і чи можуть провокувати розвиток важких захворювань?

Влив харчових добавок на організм людини залежить від індивідуальних особливостей організму. Хтось сприймає ту чи іншу добавку, а для когось вона може бути збудником алергічної реакції. Тому кожен з нас повинен слідкувати за тим що він їсть, і якщо виникають якісь проблеми то потрібно виключати конкретний продукт з нашого раціону.

На сучасному етапі розвитку суспільства запит на виробництво харчових добавок щорічно збільшуються з цієї причини однією з задач сучасної хімічної промисловості є вдосконалення цільового продукту та підвищення продуктивності процесів виробництва.

Науковою новизною дипломного проекту є створення схеми автоматизації процесу одержання нітриту калію конверсійним методом. Цей метод дозволяє добувати нітрит калію високої чистоти з недорогої сировини. Для розробки схеми автоматизації в проект впроваджено сучасні устаткування та технічні засоби автоматизації, що відповідають вимогам точності та економічності. Для продуктивної роботи автоматичної системи керування розраховані параметри регуляторів, що забезпечують задані показники якості системи.

## 1. Аналіз виробництва нітриту калію

### 1.1. Фізичні і хімічні властивості нітриту калію

Нітрит калію (відмінний від нітрату калію) є неорганічним з'єднанням з хімічною формулою  $\text{KNO}_2$ . Це іонна сіль з калієвих іонів  $\text{K}^+$  і нітриту іонів  $\text{NO}_2^-$ .

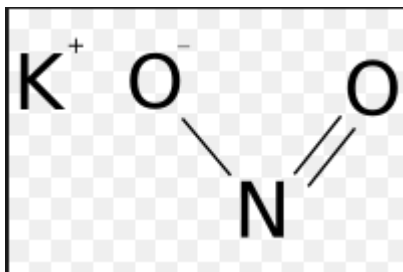


Рис. 1.1 – Хімічна формула нітриту калію

Нітрит калію є твердим кристалом при кімнатній температурі, з білувато-жовтим кольором.

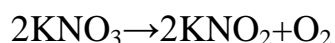


Рис. 1.2 – Зовнішній вигляд нітриту калію

Його молекулярна маса становить 85 г/моль, а його щільність 1,915 г/моль. Він має температуру плавлення  $441^\circ\text{C}$  і починає розпадатися при  $350^\circ\text{C}$ . Його температура кипіння становить  $537^\circ\text{C}$ , при якій він вибухає.

Нітрит калію добре розчинний у воді. Може розчинити 281 г в 100 мл води при  $0^\circ\text{C}$ , 413 г в 100 мл води при  $100^\circ\text{C}$ . Розчинність при кімнатній температурі становить 312 г у 100мл води. Він також розчинний в аміаку і гарячому спирті.

Нітрит калію є сильним окислювальним агентом, який може прискорити горіння інших матеріалів, коли відбувається вогонь. Він може вибухово реагувати при контакті з фосфором, хлоридом олова(II) або іншими сильними відновниками. Забруднення сполуками амонію, може викликати спонтанне розкладання. Реагує з кислотами з утворенням токсичних парів діоксиду азоту. При змішуванні з рідким аміаком утворюється нітрат калію, який дуже реактивний і вибуховий. При розплаві амонійними солями і змішуванні з ціаністим калієм може викликати вибухи. При додаванні невеликої кількості сульфату амонію до розплавленого нітрату калію відбувається сильна реакція, що супроводжується полум'ям. Як і інші солі нітриту, такі як нітрит натрію, нітрит калію є токсичним при ковтанні, а лабораторні тести показують, що він може бути мутагенним. Нітрити присутні на мікроелементах у ґрунті, природних водах, тканинах рослин і тварин, добривах. У чистому вигляді був відкритий шведським хіміком, що працював в лабораторії своєї аптеки в ринковому місті Копінг. Він нагрівав нітрат калію на червоному вогні протягом півгодини і отримав те, що він визнав новою «сіллю». І реакція була встановлена як:



Нітрит калію є загально отруйною речовиною, яка при певній дозі на кілограм ваги може призвести до смерті людини. Через можливі згубні наслідки впливу нітритів, їх поширене використання не рекомендується, однак не завжди можна підібрати адекватну безпечну заміну.

Інтерес до медичної ролі неорганічного нітриту вперше був викликаний через вражаючий успіх органічних нітритів і споріднених сполук при лікуванні стенокардії. Під час роботи в Едінбургській королівській лікарні в 1860х роках, дослідник Брунтон зазначив, що скоріш за все біль був викликаний підвищенням кров'яного тиску. В якості лікування стенокардії він вирішив спробувати вплив на пацієнта вдихання аміл нітриту. Деякий час аміл нітрит був сприятливим для лікування стенокардії, але внаслідок нестабільності він був замінений хімічно-спорідненими сполуками.

					ДП 5122.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потрібно також відзначити вплив нітриту калію на нервову систему, головний мозок, спинний мозок, пульс, артеріальний тиск і дихання. Найбільш значним було те, що навіть невелика доза речовини може призвести до підвищення артеріального тиску. Також відомим фактом є те що нітрит калію має глибокий вплив на зовнішній вигляд і здатність крові до перенесення кисню.

#### *Негативний вплив нітриту калію:*

Небезпечна сполука може розвивати ріст злоякісних ракових пухлин. Найбільша небезпека нітриту калію полягає в канцерогених властивостях калієвої солі, азотної кислоти, яка входить до складу харчової добавки.

Нітрит калію також подразнює очі, шкіру та дихальні шляхи. Речовина може викликати вплив на серцево-судинну систему і кров, що призводить до падіння артеріального тиску, утворення метгемоглобіну. Вплив може призвести до смерті.

#### *Обробка і зберігання*

Нітрит калію зазвичай зберігається разом з іншими окислювачами і відокремлюється від горючих або вогнеонебезпечних речовин, відновників, кислот, ціанідів, сполук амонію, амідів та інших солей азоту в сухому, і добре провітрюваному місці. Його не слід вживати або дихати. У разі недостатньої вентиляції слід використовувати відповідний дихальний апарат, такий як маска з протигазовим фільтром. Потрібно уникати контакту зі шкірою та очима. У разі проковтування негайно звернутися до лікаря. Рекомендується для цих випадків показати контейнерну пляшку або етикетку продукту. Для запобігання нещасним випадкам завжди потрібно мати лабораторний халат, захисні окуляри та латексні рукавички.

#### *Де використовується?*

Нітрит калію застосовується для збереження харчових продуктів, зокрема в'ялених м'ясних виробів. Також використовуються як антимікробний консервант. У реакції з міоглобіном м'яса, дає продукту бажаний рожево-

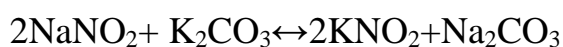
					ДП 5122.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

червоний "рожевий" колір. Це використання нітритів датується ще в середні віки і в США формально використовується з 1925 року. Через відносно високу токсичність нітритів їх концентрація у м'ясних продуктах становить 200 мг, що є максимально допустимою концентрацією. При певних умовах (особливо під час приготування) нітрити в м'ясі можуть реагувати з продуктами, утворюючи нітрозаміни, які є відомими канцерогенами. Однак роль нітритів (і в деякій мірі нітрати) у запобіганні ботулізму шляхом запобігання проростання ендоспор є дуже великою. М'ясо не можна вважати безпечним без додавання нітритів. Інші способи застосування нітриту калію полягають у виробництві солей, теплопередачі, інгібітора корозії, в якості реагенту для відновлення оксидних реакцій, в якості добавки до фарб і покриттів і для обробки води.

## 1.2. Методи отримання нітриту калію

Нітрит калію  $\text{KNO}_2$  широко застосовують в аналітичній практиці, в органічному синтезі, в медицині, як окислювач або відновник, а також як препарат для отримання багатьох продуктів методом обмінного розкладу. Існує низка способів отримання нітриту калію.

Найбільше поширений конверсійний метод одержання нітриту калію з нітриту натрію  $\text{NaNO}_2$  та карбонату калію  $\text{K}_2\text{CO}_3$ . Цей метод дозволяє добувати нітрит калію високої чистоти з недорогої сировини. Обмінна реакція між нітритом натрію та карбонатом калію



перебігає швидко і з достатньою повнотою з температур 80-90°C.

У результаті реакції утворюються добре розчинний нітрит калію та порівняно малорозчинний карбонат натрію. При цьому більша частина карбонату натрію в процесі конверсії розчинів випадає в донну фазу. Це дозволяє одержувати первинні кристали нітриту калію з високим вмістом основної речовини. Залежно від призначення нітриту калію для його виробництва як сировину застосовують технічні солі, перекристалізовані один-два рази, або солі реактивної чистоти. У випадку виробництва нітриту калію

					ДП 5122.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для аналітичних або наукових цілей сировиною є тільки препарати реактивної чистоти.

Виробництво нітриту калію складається з таких основних стадій:

- одержання розчинів нітриту калію і карбонату натрію обміним розкладом  $\text{NaNO}_2$  та  $\text{K}_2\text{CO}_3$ .
- випарювання отриманих розчинів та відділення від них карбонату натрію, що випадає в осад.
- випарювання розчину нітриту калію, який містить мало карбонату натрію, кристалізація його та відділення кристалів від маточного розчину.

Другий спосіб отримання нітриту калію являє собою обміну реакцію нітриту натрію з поташом. По цьому методу отримується продукт, який містить 25-30% нітриту натрію. Спосіб не є технологічним внаслідок важкості його реалізації.

Запропонований спосіб отримання нітриту калію відрізняється тим, що отриманий обмінною реакцією розчин пропускають через колонку з сульфоуглем, насичений калієм, і піддають очистці від домішок хлориду з осадженням подвійною сіллю  $\text{KNO}_2$  і  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  що приводить до підвищення концентрації продукту до 97-98%.

Приклад. В реактор оснащений мішалкою і обігрівачем заливають дистильовану воду і засипають поташ.

Суміш підігрівують до кипіння і перемішують поки поташ не розчиниться після чого засипають нітрит натрій. Суміш упарюють до питомої маси фільтрата і охолоджують до  $30^\circ\text{C}$ . Виділяється тверда фаза шлам, який складається, в основному з соди і 30% нітриту калію (від маси шламу). Реакційну суміш фільтрують на нутч-фільтрі. Шлам промивають демінералізованою водою в результаті чого вміст нітриту калію в ньому зменшується на 7-8%.

Промитий шлам використовують як побічний продукт замість соди.

Вміст нітриту калію в солевій частині розчину складає приблизно 90%.

					ДП 5122.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З метою підвищення вмісту калію розчин нітрит калію пропускають через іоннообмінну колонку з сульфовуглем, зарядженим калієм. Вага сульфовугля в 5 разів більша маси нітриту калію в розчині, який призначений для збагачення. Для осадження сульфатів в розчин нітриту калію вводять їдкий барій ( у вигляді насиченого розчину). Для осадження хлоридів розчин упарюють до температури кипіння розчину 130°C і залишають стояти протягом дня. Утворена тверда фаза, що складається в основному з нітриту калію, захвачує велику частину хлоридів і домішок натрію, барію, карбонатів сульфатів.

Тверду фазу відділяють від розчину нітриту калію на нутч -фільтрі і використовують для отримання нітриту калію низької кваліфікації.

Очищений розчин нітриту калію випарюють до консистенції каші і охолоджують в кристалізаторі до 30°C.

Продукт отриманий даним способом має наступний склад:

Нітрит калію – 98%;

Склад домішок :

хлориди – 0,001 %;

сульфати- 0,0025%;

Важкі матеріали:

в перерахунку на Pb – не менше 0,0002%;

в перерахунку на Re – не менше 0,0002%;

Ще один спосіб одержання нітриту калію полягає у відновленні азотнокислого калію губчастим свинцем. Але він має декілька недоліків:

Перший недолік – вміст нітриту калію в речовині не перевищує 80%;

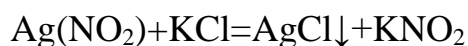
Другий недолік – вихідний продукт є забруднений різним домішками свинцю та азотнокислих солей;

Третій недолік – для процесу виробництва використовується дефіцитний, дорогий та отруйний губчастий свинець.

					ДП 5122.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Для виготовлення високо-відсоткового препарату, який є забруднений невеликою кількістю срібла у вигляді комплексного іону  $\text{Ag}(\text{NO}_2)$ , можна використати методику, яка була заснована на взаємодії азотокислого срібла та хлористого калію:



До водянистої сиспензії  $\text{Ag}(\text{NO}_2)$  при перемішуванні поступово додають певну кількість  $\text{KCl}$ . У кінцевій стадії процесу  $\text{AgNO}_2$  відтитровують розрідженим розчином  $\text{KCl}$ , до тієї пори поки реакційна суміш не очиститься від  $\text{Ag}^+$  і  $\text{Cl}^-$ . Наступна фаза це фільтрування суміші, фільтрат випарюють у вакуумі (200 мм рт. Ст.) до сухості і отриманий продукт перекристалізують з води.

У першій фракції кристалів міститься 92%  $\text{KNO}_2$ , 0,32%  $\text{H}_2\text{O}$ , 0.007%  $\text{Ag}^+$ . Іони  $\text{SO}_4^{2-}$  відсутні.

### 1.3. Опис виробництва нітриту калію конверсійним методом

У реактор 1, оснащений паровою оболонкою та мішалкою, з напірного бака 2 з нержавіючої сталі самопливом заливається дистильована вода. Воду нагрівають у реакторі до 80-90 °C і в нього при працюючій мішалці електротельфером поступово засипають карбонат калію та нітрит натрію. Після розчинення у воді вихідних солей та обмінного їх розкладання утворюється розчин солей, розділення яких зумовлено різною їх розчинністю за заданих концентрації і температур. Ця стадія процесу зводиться до дворазового випарювання розчину до певної густини у реакторі 1. При цьому в розчині залишається основна маса  $\text{KNO}_2$ , а карбонат натрію випадає в осад і відділяється від розчину фільтруванням. Отриманий розчин фільтрують у гарячому вигляді на нутч-фільтрі 4, зробленому з нержавіючої сталі. Осад карбонату натрію, що залишається на сукні фільтра, промивають невеликим об'ємом гарячої дистильованої води до вмісту в ньому 5...6 %  $\text{KNO}_2$  і використовують як сировину в іншому виробництві. Розчин нітриту калію із промивними водами спрямовується на вторинне випарювання в реакторі 5.

					ДП 5122.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кристалізація  $\text{KNO}_2$  вважається завершеною за температури суспензії 25...30 °С. Масу нітриту калію виділяють від маточного розчину в центрифугі 10. Утворений маточний розчин нагромаджується у баці з нержавіючої сталі і переробляється на стадії вторинного випарювання розчинів. Якщо у цьому розчині масова частка хлоридів досягне 2..3 г/л, він виводиться з циклу процесу. Після центрифугування кристали піддають певному аналізу, а далі пакують у скляні банки, фанерні чи картонні барабани. Готовий продукт іноді підсушують за температури 60...70 °С.

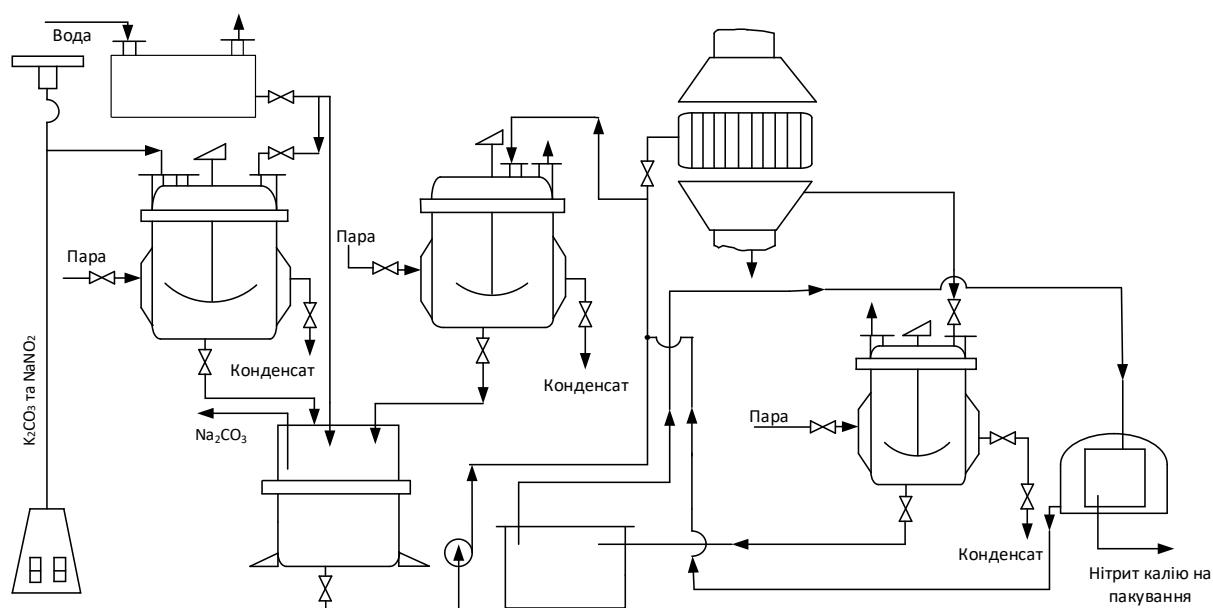


Рис. 1.3 – Схема виробництва нітриту калію конверсійним методом

#### 1.4. Постановка задачі автоматизації

Технологічний метод процесу виробництва нітриту калію конверсійним методом є багатоступеневим об'єктом. Тому, для ефективного та фінансово вигідного існування необхідно здійснювати моніторинг поточної зміни визначних параметрів процесу, аналіз їх взаємовпливу та синтез системи автоматизованого регулювання. Тобто, ця система має включати необхідну кількість контрольно-вимірювальних і регулюючих приладів, для утримання і забезпечення роботи усіх параметрів процесу в межах допустимих норм.

На меті дипломного проекту постає задача розробити систему автоматичного керування випарним реактором у процесі одержання нітриту калію та проектування схеми автоматизації всього процесу.

Розроблена система керування та схема автоматизації зможуть забезпечити:

- підвищення рівня автоматизації процесу;
- зменшення трудових, економічних та інших ресурсів на виробництво;
- підвищить надійність і безпеку на виробництві;
- максимальне усунення аварійних ситуацій.

Для розв'язання поставлених задач автоматизації процесу одержання нітриту калію необхідно виконати наступне:

1. визначити режимні параметри, які задають необхідний технологічний режим;
2. моделювання процесів у випарному реакторі;
3. визначити параметри регулювання, а також граничні значення параметрів для спрацьовування системи сигналізації;
4. заходи із забезпечення охорони праці на виробництві.

## 2. Математичне моделювання випарного реактор

### 2.1 Моделювання статичного режиму

Випарний реактор – це теплообмінник який використовується для збільшення концентрації розчину. Параметрична схема апарату наведена на рисунку (2.1). Метою випарювання є видалення розчинника і перетворення його на пару, після чого залишається концентрований розчин, який у подальшому кристалізують для отримання готового продукту.

Оскільки процес концентрування є найголовнішою технологічною стадією отримання нітриту калію, постає завдання створення системи керування для забезпечення ефективності виробництва. Керування випарним реактором являє собою підтримання заданої концентрації нітриту калію у вихідному розчині. Це досягається за рахунок зміни витрати пари, що подається на вхід у реактор. Тобто, каналом керування є залежність концентрації від витрати пари.

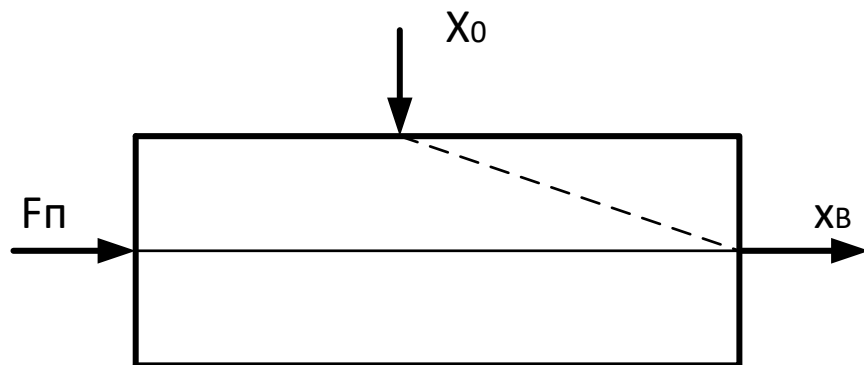


Рис. 2.1 - Структурно-параметрична схема випарного реактора

Головним регульованим параметром приймемо концентрацію розчину на виході з реактора, тому що він є цільовою функцією процесу. В даному випадку на результат концентрації впливає витрата пари, оскільки вона в свою чергу змінює концентрацію всередині реактора. Також на концентрацію на виході впливає концентрація розчину на вході в реактор. Проаналізувавши робим висновок, що початкова концентрація буде збурюючим фактором.

Щоб отримати ефективну систему керування потрібно розробити математичну модель об'єкту.

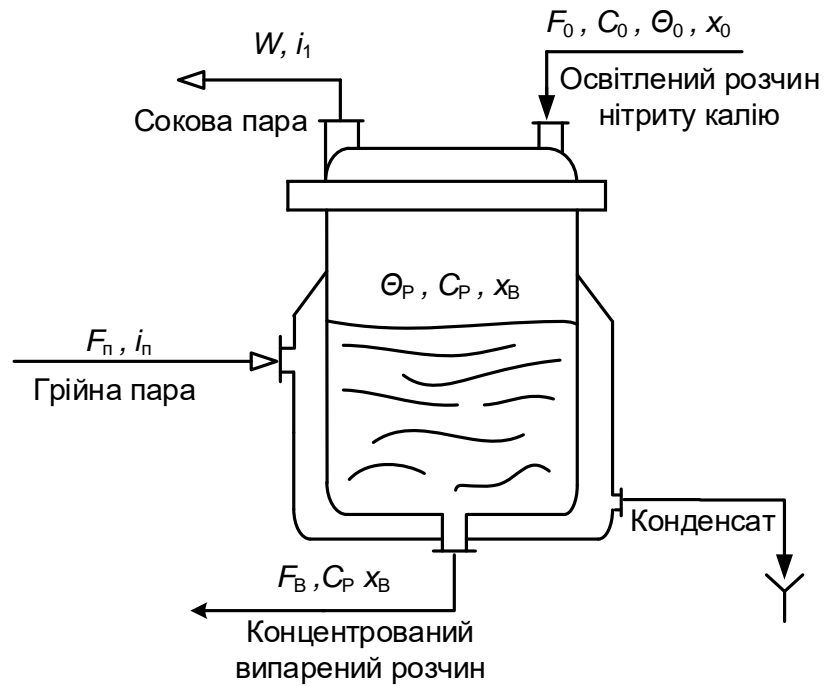


Рис. 2.2 - Розрахункова схема випарного реактора

В таблиці 2.1 представленні значення технологічних параметрів процесу в статичному режимі.

Таблиця 2.1 – Технологічні параметри статичного режиму

Назва параметру	Позначення	Одиниці вимірювання	Значення	№ П.П.
Витрата освітленого розчину	$F_0$	Кг / с	31	1
Витрата конденсату	$F_k$	Кг / с	0.89	2
Витрата пари	$F_{\pi}$	Кг / с	0.9	3
Витрата концентрованого розчину,	$F_B$	Кг / с	21	4
Питома теплоємність розчину всередині реактора	$C_p$	кДж / (кг•К)	3.85	5
Питома теплоємність конденсату	$C_k$	кДж / (кг•К)	4.21	6

Температура освітленого розчину	$\Theta_0$	К	341	7
Температура розчину всередині реактора	$\Theta_p$	К	422	8
Температура конденсату	$\Theta_k$	К	351	9
Прихована теплота пароутворення пари	$i_p$	кДж / кг	2,357	11
Концентрація нітриту калію в освітленому розчині	$x_0$	% , (кг / кг)	71	12
Коефіцієнт теплопередачі	$K$	кДж / (с•К•м <sup>2</sup> )	6	13
Площа теплообміну	$S$	м <sup>2</sup>	5	14
Густина конденсату	$\rho_k$	Кг / м <sup>3</sup>	989	15
Густина розчину всередині реактора	$\rho$	Кг / м <sup>3</sup>	1499	16
Об'єм реактора без парової оболонки	$V$	м <sup>3</sup>	19	17

В процесі розробки моделей статичного та динамічного режимів випарного реактора робимо такі припущення:

1. Знехтуємо втратами тепла в навколишнє середовище;
2. Уся пара конденсується;
3. Мішалка в реакторі не впливає на фізичні процеси;
4. Через невелику товщину стінок знехтуємо акумуляцією тепла в них;
5. Будемо вважати що даний об'єкт з зосередженими параметрами.

Рівняння балансів:

матеріальний баланс по концентрації головного компоненту:

$$F_0 x_0 - F_B x_B = 0; \quad (2.1)$$

загальний тепловий баланс:

$$F_0 C_0 \Theta_0 + F_{\pi} i_{\pi} - W i_1 - F_B C_p \Theta_p = 0. \quad (2.2)$$

Регульованою величиною є концентрація нітриту калію у розчині на виході. Її залежність визначимо від керуючого впливу, в даному випадку від витрати пари. Знайдемо із рівняння (2.2)  $W$ :

$$W = \frac{F_0 C_0 \Theta_0 + F_{\pi} i_{\pi} - F_B C_p \Theta_p}{i_1}. \quad (2.3)$$

Представимо рівняння (2.1) у такому вигляді:

$$F_0 x_0 - (F_0 - W) x_B = 0. \quad (2.4)$$

Підставимо рівняння (2.3) у рівняння (2.4) відшукаємо залежність концентрації вихідної речовини від витрати пари:

$$x_B(F_{\pi}) = \frac{F_0 i_1 x_0}{F_0 i_1 - F_{\pi} i_{\pi} - C_0 F_0 \Theta_0 + C_p F_B \Theta_p}. \quad (2.5)$$

Збуренням в даному випадку є концентрація початкового розчину:

$$x_B(x_0) = \frac{F_0 i_1 x_0}{F_0 i_1 - F_{\pi} i_{\pi} - C_0 F_0 \Theta_0 + C_p F_B \Theta_p}. \quad (2.6)$$

Побудуємо отримані залежності:

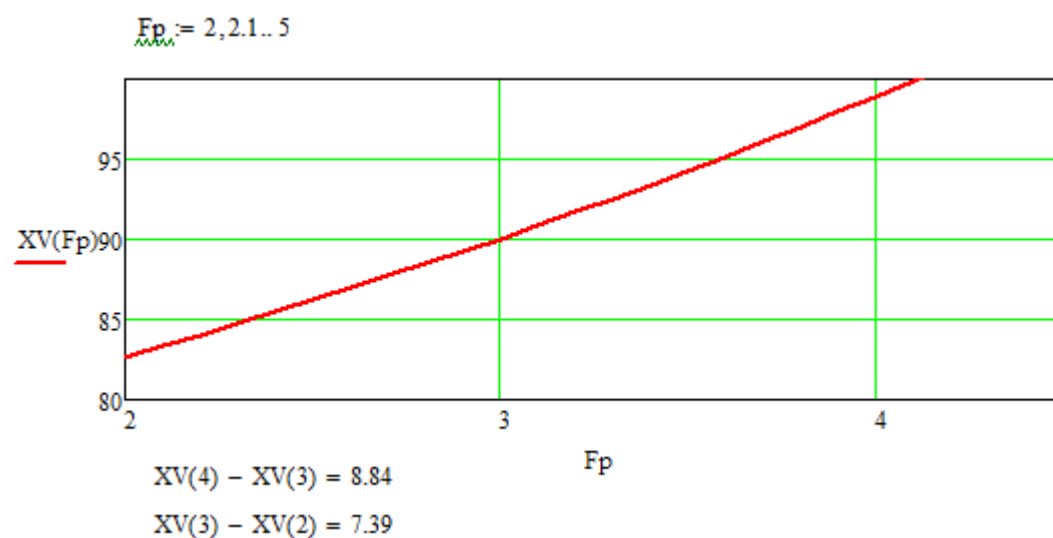


Рис. 2.3. - Статична характеристика об'єкта керування по каналу керування.

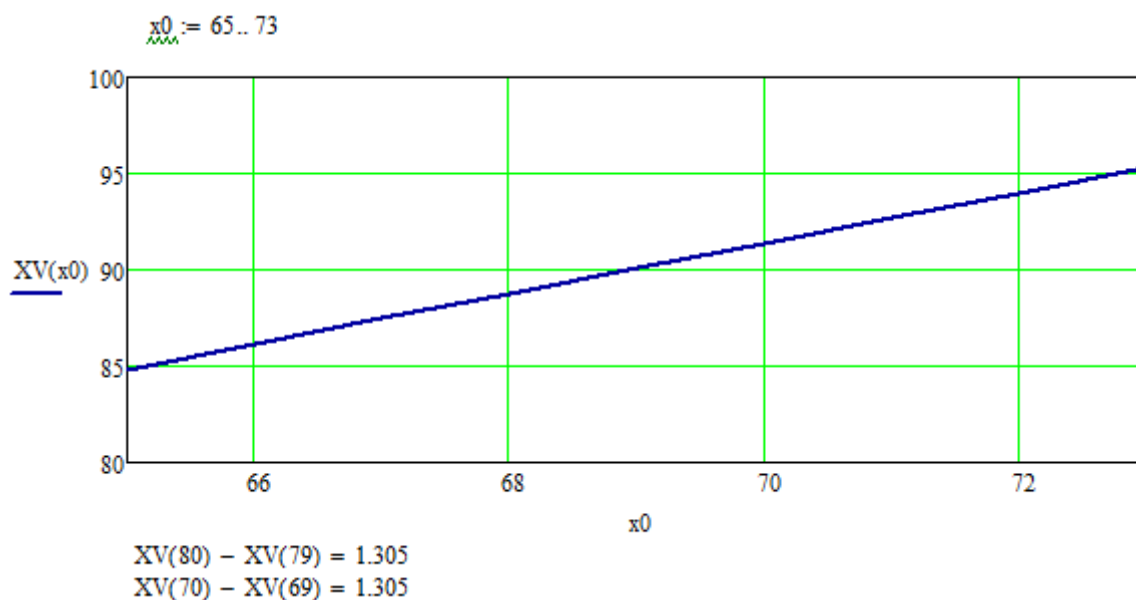


Рис. 2.4.- Статична характеристика об'єкта керування по каналу збурення.

На графіках видно, що при збільшенні витрати пари, збільшується концентрація нітриту калію в кінцевому розчині. Залежність яку ми отримали являється статичною характеристикою даної математичної моделі.



## 4.2. Моделювання динамічного режиму

Для того щоб отримати рівняння динаміки, підставимо рівняння (2.3) в (2.4):

$$F_0 x_0 - (F_0 - \frac{F_0 C_0 \Theta_0 + F_{\Pi} i_{\Pi} - F_B C_P \Theta_P}{i_1}) x_B = V \frac{d(x_B)}{dt} \quad (2.7)$$

Регульована величина –  $x_B$  ;

Керуюча дія –  $F_n$  ;

Збурення –  $x_0$ .

Робимо лінеаризацію:

$$\frac{d}{d(x_B)} (F_0 x_0 - (F_0 - \frac{F_0 C_0 \Theta_0 + F_{\Pi} i_{\Pi} - F_B C_P \Theta_P}{i_1}) x_B) = \frac{F_0 C_0 \Theta_0 + F_{\Pi} i_{\Pi} - F_B C_P \Theta_P}{i_1} - F_0 \quad (2.8)$$

$$\frac{d}{d(x_0)} (F_0 x_0 - (F_0 - \frac{F_0 C_0 \Theta_0 + F_{\Pi} i_{\Pi} - F_B C_P \Theta_P}{i_1}) x_B) = F_0 \quad (2.9)$$

$$\frac{d}{d(F_{\Pi})} (F_0 x_0 - (F_0 - \frac{F_0 C_0 \Theta_0 + F_{\Pi} i_{\Pi} - F_B C_P \Theta_P}{i_1}) x_B) = \frac{i_{\Pi} x_B}{i_1} \quad (2.10)$$

Підставимо значення статичного режиму в рівняння (2.8-2.10)

$$20 \frac{d(x_B)}{dt} + 16,551 \cdot \Delta x_B = 21,603 \cdot \Delta x_0 + 133,146 \cdot \Delta F_{\Pi} \quad (2.11)$$

Поділимо рівняння на коефіцієнт при  $\Delta x_B$ :

$$1,208 \frac{d(x_B)}{dt} + \Delta x_B = 1,305 \cdot \Delta x_0 + 8,045 \cdot \Delta F_{\Pi} \quad (2.12)$$

Робимо перетворення Лапласа:

$$1,208 \cdot s \cdot x_B(s) + x_B(s) = 1,305 \cdot x_0(s) + 8,045 \cdot F_{\Pi}(s) \quad (2.13)$$

За дужки  $x_B(s)$  у лівій частині рівняння (2.13):

$$x_B(s) (1,208 \cdot s + 1) = 1,305 \cdot x_0(s) + 8,045 \cdot F_{\Pi}(s) \quad (2.14)$$

Маємо передатні функції за канадами керування і збурення:

$$W_{\text{кер}}(s) = \frac{8,045}{1,208 \cdot s + 1} \quad (2.15)$$

$$W_{\text{зб}}(s) = \frac{1,305}{1,208 \cdot s + 1} \quad (2.16)$$

Зробимо зворотнє перетворення Лапласа для наших передатних функцій, які помножені на зображення одиничного ступінчатого сигналу за Лапласом:

$$h_{кер}(t) = L^{-1} \left[ \frac{W_{кер}(s)}{s} \right] = -8,04 \cdot e^{-0,83 \cdot t} + 8,04 \quad (2.17)$$

$$h_{зб}(t) = L^{-1} \left[ \frac{W_{зб}(s)}{s} \right] = -1,3 \cdot e^{-0,828 \cdot t} + 1,3 \quad (2.18)$$

Побудуємо перехідні характеристики

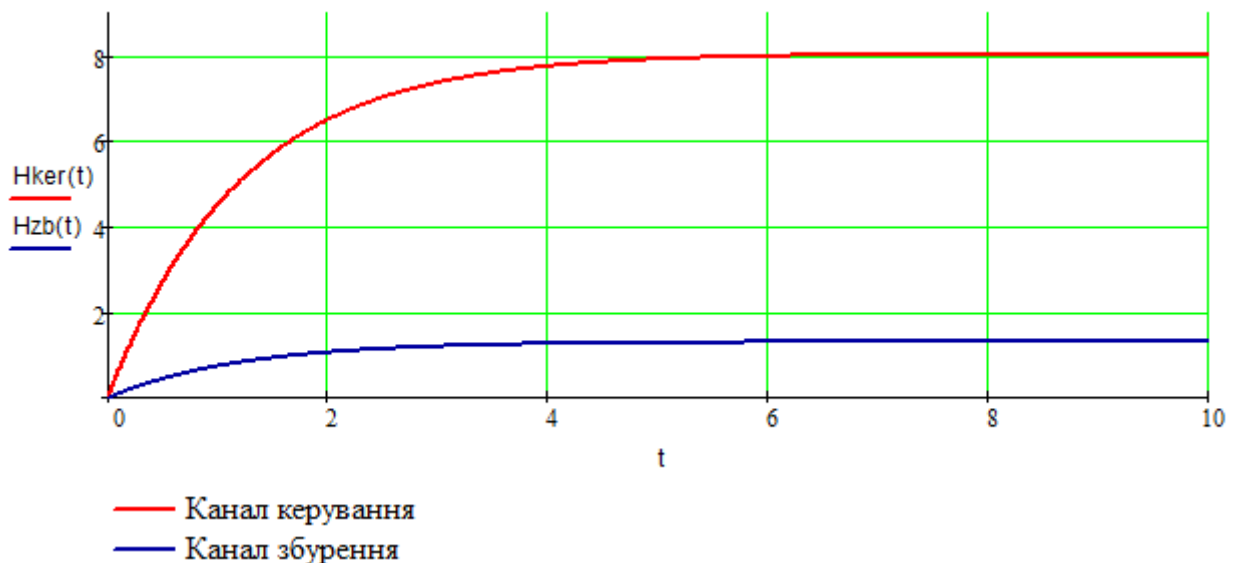


Рис. 2.5 - Перехідні характеристики по каналам збурення та керування.

При синтезі системи керування буде використовуватись MATLAB, то побудуємо перехідні характеристики в пакеті MATLAB:

```
num=[8.045];
den=[1.208 1.0];
Wp=tf(num, den);
Wp.variable='p';
num=[1.305];
den=[1.208 1.0];
Wz=tf(num, den);
step(Wp,Wz,10)
```

Одержимо:

- Передатна функція по каналу керування:

$$W_p = \frac{8.045}{1.208 s + 1}$$

- Передатна функція по каналу збурення:

$$W_z = \frac{1.305}{1.208 s + 1}$$

Перехідні характеристики будуть мати вигляд:

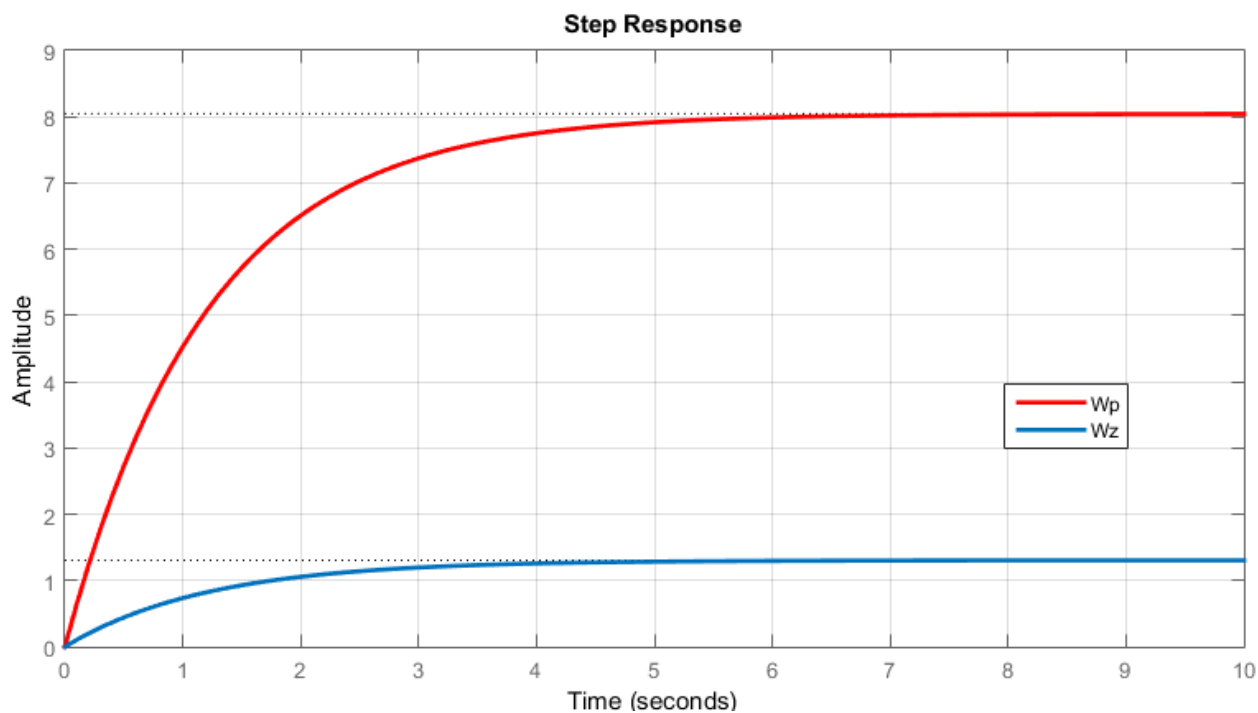


Рисунок 2.6 – Перехідні характеристики по каналам керування та збурення

Побудувавши графіки перехідних характеристик у MATLAB, зробим висновки, що їх вигляд збігається з побудованими в Mathcad.

Ми побудували передатні функції за каналами керування та збурення, що дозволяє починати роботу з налаштуванням регулятора.

Об'єкт навіть з порівняно великою швидкістю буде мати транспортне запізнювання, що пов'язане з різними чинниками. Перш за все , це наявність запірної арматури на трубопроводах, а також час спрацювання виконавчих механізмів. При наступних розрахунках запізнювання буде дорівнювати 0,09 с.

					ДП 5122.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. Синтез та дослідження системи керування

#### 3.1. Аналіз показників якості системи керування

Для продуктивної роботи працездатної системи керування, достатнє та необхідне відповідність нормам певних показників якості процесу управління.

Після дослідження системи на стійкість, що є обов'язковою умовою до працездатних систем, постає питання про якість процесів у ній. Для кількісної та якісної оцінки процесів в системі створено велику кількість оціночних характеристик, або показників якості, а також методів оцінювання. Серед них є і експериментальні й теоретичні, всі вони мають різні алгоритми та, відповідно, різну громіздкість. Також кожен з них має свою точність.

На практиці ж якість регулювання прийнято визначати з перехідної характеристики.

Показники оцінки якості керування класифікують за такими групами:

- прямі - визначаються по кривій перехідній характеристиці САК
- кореневі - по кореню характеристичного полінома;
- частотні - використовується дійсна частотна характеристика

замкнутої системи;

- інтегральні – вираховуються шляхом інтегрування функцій

#### 3.1. Розрахунок параметрів регулятора методом Циглера-Нікольса

На практиці для настройки систем регулювання, застосовують близькі методи розрахунку параметрів регулятора. За допомогою такого підходу ми швидко, без проведення складних досліджень можемо розв'язати задачу вибору властивостей регулятора в залежності від властивостей ОК. Для наближеної оцінки динамічних властивостей застосовують спрощені математичні моделі ОК у вигляді передатних функцій.

Задаємо передатну функцію об'єкта, як ланки першого порядку із запізнюванням (апроксимованим дробом Паде):

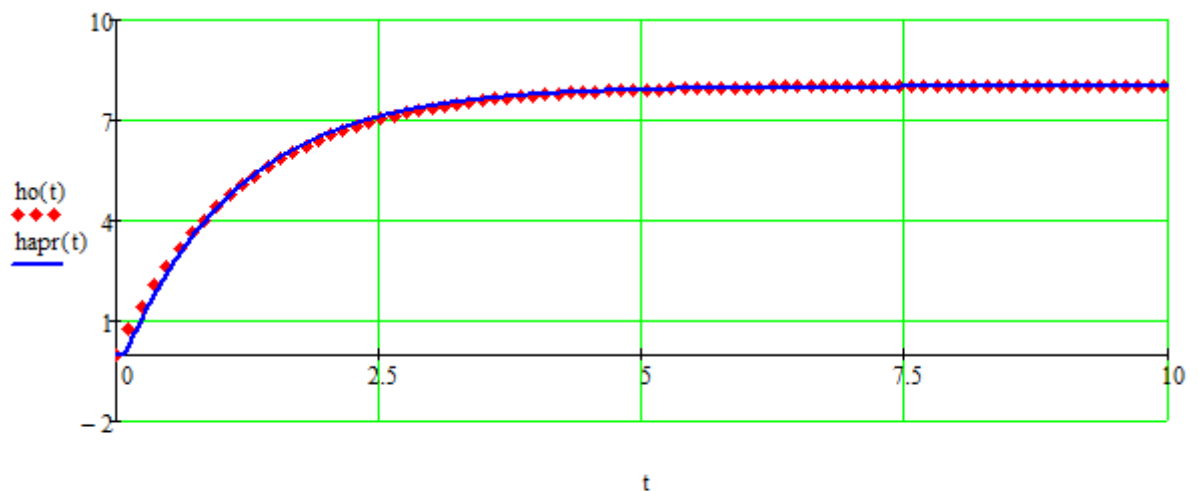
					ДП 5122.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\tau := 0.09 \quad T_i := 1.1 \quad k := 8$$

$$W_{zap}(s) := \frac{1 - \frac{\tau}{2} \cdot s + \frac{\tau^2}{12} \cdot s^2}{1 + \frac{\tau}{2} \cdot s + \frac{\tau^2}{12} \cdot s^2} \quad W_{apr}(s) := \left( \frac{k}{T_i \cdot s + 1} \right) \cdot W_{zap}(s)$$

$$W_{apr}(s) := \left( \frac{k}{T_i \cdot s + 1} \right) \cdot W_{zap}(s) \rightarrow \frac{8 \cdot (-0.045 \cdot s + 0.000675 \cdot s^2 + 1)}{(1.1 \cdot s + 1) \cdot (0.045 \cdot s + 0.000675 \cdot s^2 + 1)}$$

$$h_{apr}(t) \rightarrow -8.7 \cdot e^{-0.91 \cdot t} + 0.68 \cdot e^{-34.0 \cdot t} \cdot \cos(19.0 \cdot t) + 1.2 \cdot e^{-34.0 \cdot t} \cdot \sin(19.0 \cdot t) + 8.0$$



◆◆◆ Реальний ОК  
— Апроксимований ОК

Рис. 3.1. Перехідні характеристики реального ОК та апроксимованого ОК

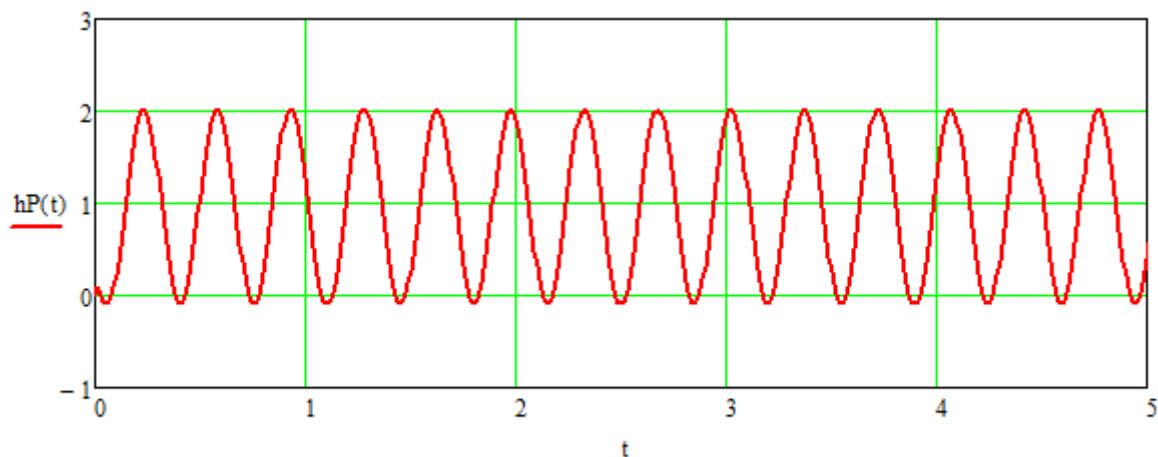
Знайдемо параметри налаштування П та ПІ-регуляторів використовуючи метод Циглера-Нікольса. Для цього знайдемо такі параметри регуляторів (критичні), при яких наша система буде знаходитися на межі стійкості – тобто система переходить у незгасаючі коливання.

Запишемо замкнені системи керування з П та ПІ-регуляторами:

$$W_P(s) := k_1 \quad W_{PI}(s) := k_2 \cdot \left( 1 + \frac{1}{T_i \cdot s} \right)$$

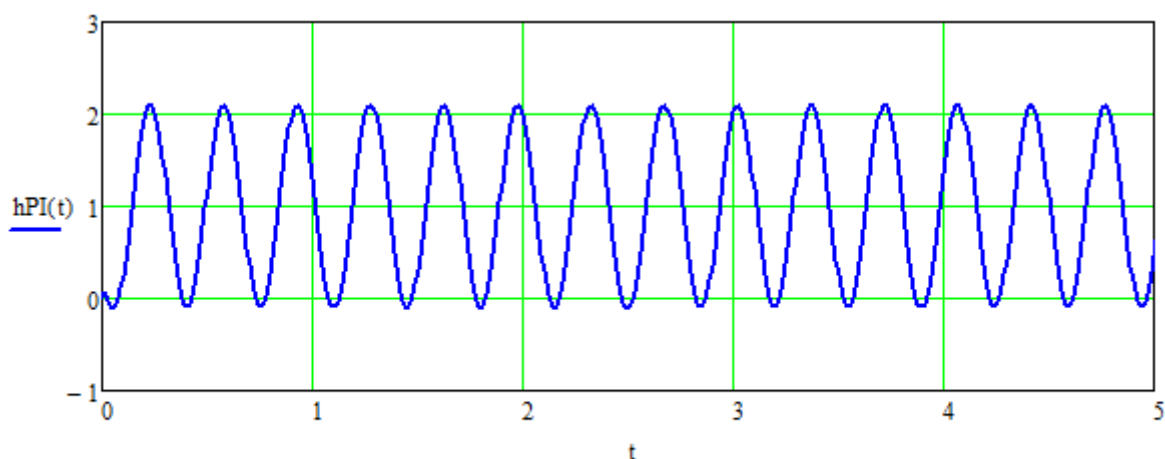
$$W_{zP}(s) := \frac{W_o(s) \cdot W_P(s)}{1 + W_o(s) \cdot W_P(s)} \quad W_{zPI}(s) := \frac{W_o(s) \cdot W_{PI}(s)}{1 + W_o(s) \cdot W_{PI}(s)}$$

Виведемо дані системи на межу стійкості:



— Система з П-регулятором

Рис. 3.2 - Перехідна характеристика замкненої системи з П-регулятором на межі стійкості.



— Система з ПІ-регулятором

Рис. 3.3 - Перехідна характеристика замкненої системи з ПІ-регулятором на межі стійкості.

Для налаштування регуляторів застосуємо стандартний підхід.

З дослідів з'ясовано, що

для П-регулятора  $K_{Пкр} = 2.53$ ;

для ПІ-регулятора  $K_{Пкр} = 2.43$ ,  $T_{iкр} = 1.1$ .

Тоді для П-регулятора  $K_{Понт} = 0.55 K_{Пкр} = 1.391$ ,

а для ПІ-регулятора  $K_{Понт} = 0.35 K_{Пкр} = 0.851$ , а  $T_{iонт} = 1.32$ .

Побудуємо перехідні характеристики замкнених систем (по каналу керування) з П та ПІ-регуляторами, налаштованими по методу Циглера-Нікольса:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 5122.00.000 ПЗ

Арк.

26

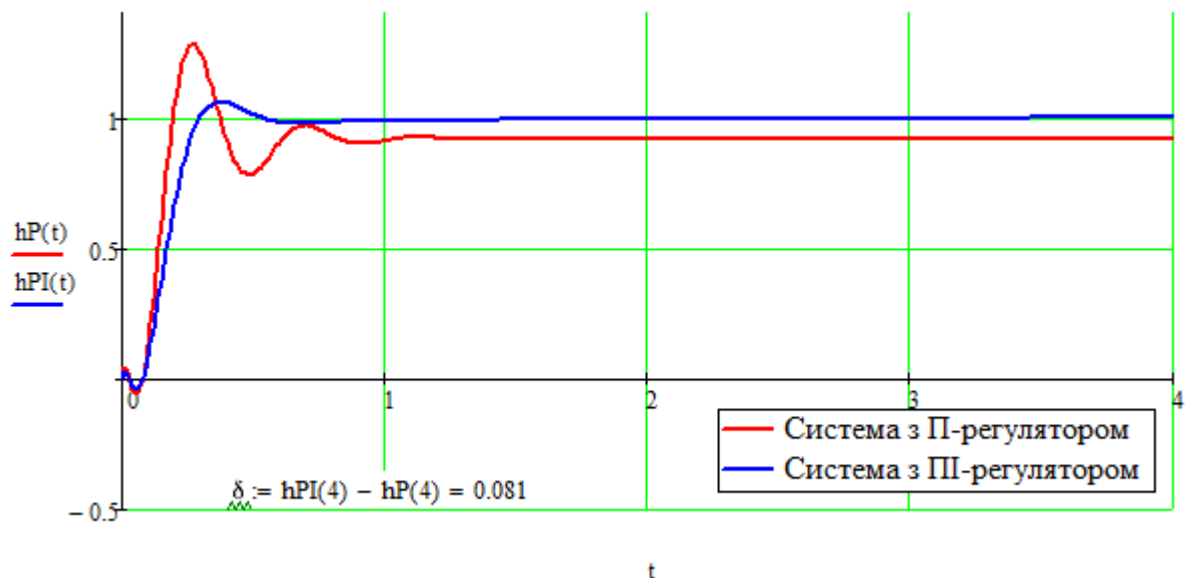


Рис. 3.4 - Перехідні характеристики замкнених систем по каналу керування з регуляторами, налаштованими методом Циглера-Нікольса.

З графіків для замкненої коливної системи з використанням П та ПІ регуляторів ми бачимо, що на практиці найкращим для використання є ПІ-регулятор, оскільки він задовільняє якість регулювання, статична похибка відсутня, невеликий час виходу на усталений режим і також невелика чуттєвість до збурень.

### 3.2. Розрахунок та моделювання системи керування в Simulink

На виробництвах, налаштування систем керування не завжди виявляється легкою процедурою, якщо налаштовувати кожен контур вручну, спираючись на досвід. Особливо це стосується систем керування з багатоступінчатими зворотними зв'язками та компонентами, що налаштовуються. Прикладом цього є каскадні ПІД-регулятори, керуючі структури з прямою та зворотною дією, багатоканальні контури керування системами зі значними перехресними зв'язками.

На практиці інженери налаштовують тільки один контур керування за раз. Крім того, що такий підхід є затратним по часу, він ще й потребує значного досвіду. Тому для нових працівників це важкий у засвоєнні метод, що не гарантує успіх кінцевого результату.

Новітня комп'ютерна промисловість розкриває інженерам розмаїття засобів моделювання, що дозволяють не тільки моделювати системи, але й



експериментально досліджувати їх. Це дозволяє повніше досліджувати системи в цілому і певні їх нюанси. З цією метою були створені спеціалізовані обчислювальні пакети візуального моделювання.

Прикладна математика надає декілька інтегрованих програмних систем і пакетів програм для автоматизації математичних розрахунків, наприклад MATLAB. Він будується на широкому представленні й застосуванні матричних операцій і є досить надійним. Однією з основних причин використання MATLAB є його набір різноманітних засобів, яким може користуватись інженер у вирішенні різних задач.

Серед цих засобів важливе місце займає підсистема Simulink, яка привертає увагу сучасних дослідників, зокрема й спеціалістів з автоматизованого проектування. Simulink являє собою інтерактивне середовище для моделювання й аналізу широкого класу динамічних систем за допомогою блок-діаграм. Відоме воно наступними властивостями:

- масивна бібліотека блоків (математичні функції, засоби відображення, неперервні та дискретні елементи, нелінійні елементи, джерела сигналів, додаткові блоки, тощо), які використовують для проектування і візуалізації систем;
- можливість моделювання лінійних та нелінійних, неперервних та дискретних, а також комбінованих систем;
- об'єднання блок-діаграм в складені блоки, для ієрархічного структурування моделі;
- розмаїття засобів для створення користувацьких блоків та їх бібліотек;
- реалізація підсистем з умовами, тригерів, тощо.

Отже, Simulink забезпечує інтерактивну роботу з об'єктами і моделями, при якому результати їх функціонування відображаються в процесі роботи, і існує можливість зміни параметрів моделі навіть у момент виконання. Також він дозволяє створювати власні блоки і бібліотеки блоків з доступом із програм

на Matlab, Fortran чи C, зв'язувати блоки з розробленими раніше програмами на Fortran і C, що містять вже перевірені моделі.

Тобто, інженери з різними спеціальностями, процесами, строками, програмними середовищами, працюючи у різних організаціях та місцях, можуть використовувати єдину платформу проектування для великомасштабних проектів. Працюючи над окремими компонентами проекту в загальному середовищі, вони можуть ефективно спілкуватися з учасниками проекту шляхом обміну інформацією через моделі, які утворюють виконавчу специфікацію без шкоди для інтелектуальної власності кожного з них. Інтегруючи Simulink з інструментами керування конфігурацією, є можливість керувати зміною наборів, що містять дані, моделі та отримані артефакти, згенеровані у ході проектування.

Виконаємо комп'ютерне моделювання системи керування з ПІ-регулятором, для визначення налаштувань регулятора, що забезпечать необхідну якість перехідного процесу. У робочому вікні Simulink збираємо необхідну систему у вигляді схеми, що складається з наступних блоків:

- 1) Блок передатної функції *Transfer Fcn* задає передатну функцію у вигляді відношення поліномів.
- 2) *Transport Delay* – імітує транспортне запізнювання вхідного сигналу на заданий час.
- 3) *PID Controller* – алгоритм управління. Налаштування ПІД-регулятора полягає у підборі трьох коефіцієнтів підсилення. Це можна робити вручну, а можна скористатись Simulink Control Design для автоматичної лінеаризації і підбору параметрів, задаючи, наприклад, бажану швидкодію системи.
- 4) *Scope* – блок відображення досліджуваних сигналів у часі, що дає шанс спостерігати за змінами сигналів в процесі моделювання.
- 5) *Sum* – суматор. Використовується для підсумовування скалярних, векторних або матричних сигналів.
- 6) *Constant* – задає сигнал у вигляді константи, що може бути дійсним або комплексним числом, обчислюваним виразом, вектором або матрицею.

Схему системи керування з ПІ-регулятором представлено на рис. 5.11. Для опису ОК використовуємо отриману раніше передатну функцію по каналу керування.

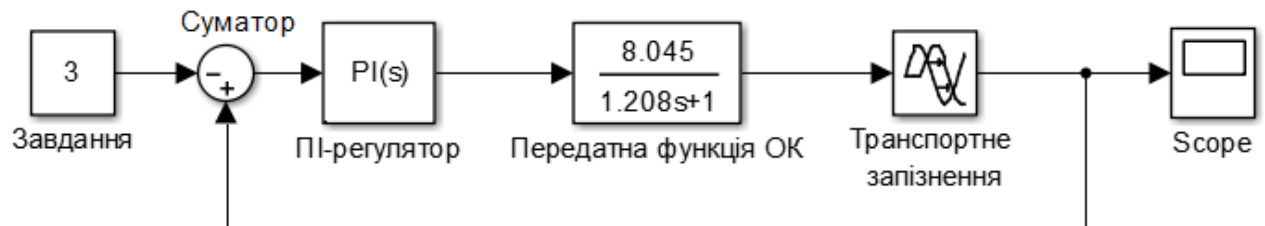


Рисунок 3.5 – Схема системи керування з ПІ-регулятором у середовищі Simulink

Натиснувши на блок «Scope» отримаємо зображення графіка перехідного процесу:

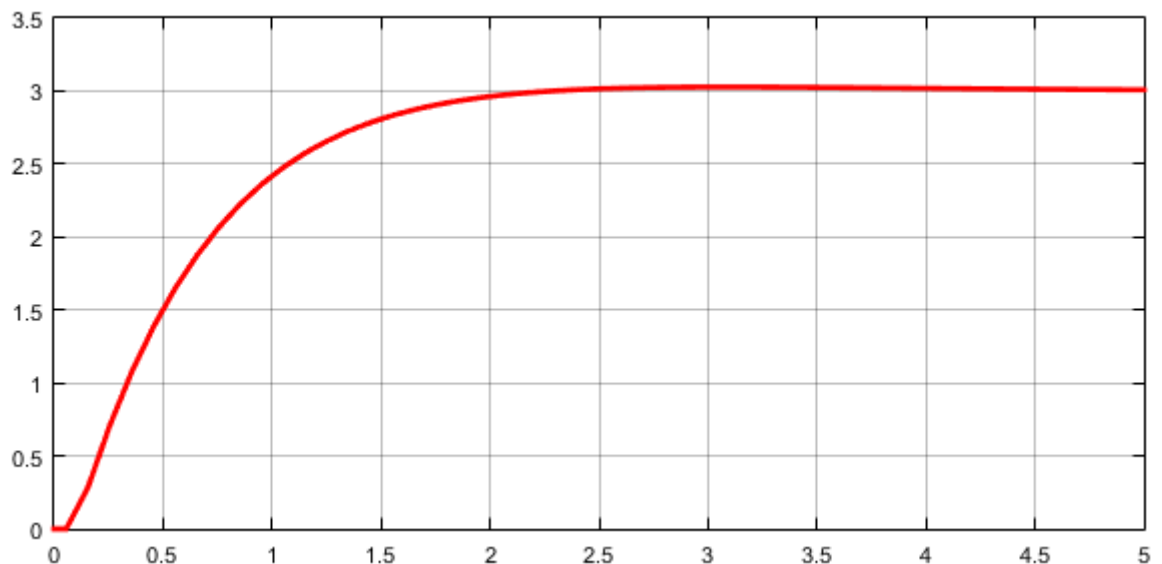


Рисунок 5.6 – Графік перехідного процесу системи керування

Викликавши блок «*PID-Controller*» виконаємо налаштування регулятора. У розділі налаштувань «*Controller*» обираємо ПІ-регулятор. Як видно з наведеного нижче рисунка параметри регулятора вибираються автоматично.

**PID Controller**

This block implements continuous- and discrete-time PID control algorithms and includes advanced features such as anti-windup, external reset, and signal tracking. You can tune the PID gains automatically using the 'Tune...' button (requires Simulink Control Design).

Controller: **PI** Form: **Ideal**

Time domain:

☒ Continuous-time  
☐ Discrete-time

Main PID Advanced Data Types State Attributes

Controller parameters

Source: **internal** [Compensator formula](#)

Proportional (P): **-0.695413921191703**

Integral (I): **0.993255152701909**

$P \left( 1 + I \frac{1}{s} \right)$

**Tune...**

Рисунок 3.7 – Вікно налаштувань ПІ-регулятора

Натиснувши на кнопку «Tune», отримаємо обчислені налаштування регулятора, та зображення графіка перехідного процесу у вікні налаштувань ПІ-регулятора «PID Tuner»:

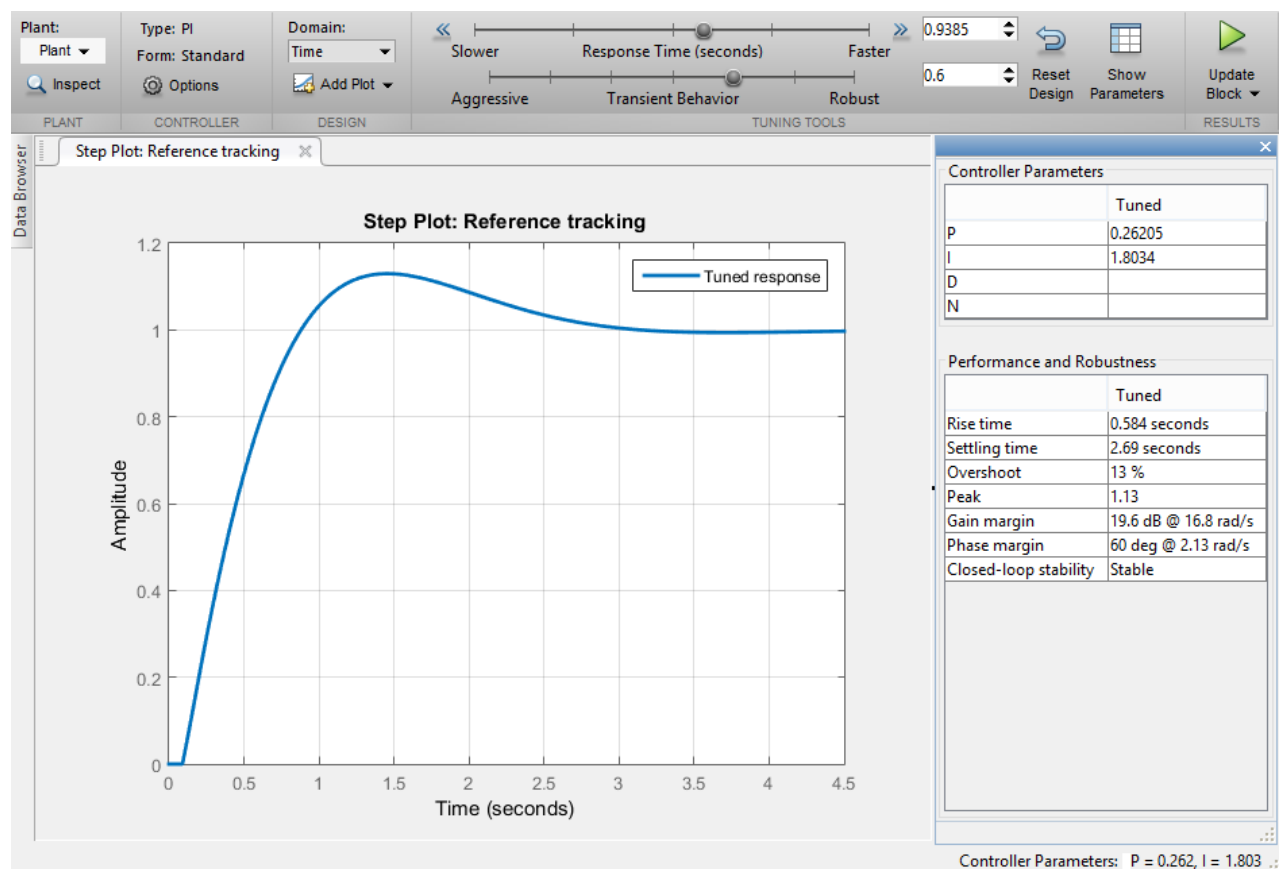


Рисунок 3.8 – Графік перехідного процесу у вікні налаштувань ПІ-регулятора «PID Tuner»

У цьому вікні ми як правило налаштовуємо час та плавність переходу системи, при яких вона буде виходити на усталений режим. На правій стороні вікна ми бачимо час наростання (rise time), час встановлення (settling time) та стабільність роботи замкнутого контуру (closed-loop stability).

Будемо змінювати час реакції системи і порівнювати якість перехідного процесу. В табл. (3.1) можна побачити зміну параметрів регулятора, взявши різні значення часу реакції.

Таблиця 3.1 – Результати змін параметрів регулятора

Час перехідного процесу, с	Перерегулювання, %	$K_p$	$T_i$
10,6	0,136	0,0000129	2336
9,12	0,539	0,0000301	2562
8,1	1,09	0,000031	2758
7,14	1,94	0,000032	2996
6,04	7,81	0,06	1,99
5,05	8,52	0,09	1,77
4,04	9,29	0,14	1,64
3,04	9,9	0,23	1,58
2,06	8,16	0,47	1,402
1,22	3,57	0,67	1,04
0,57	3,5	0,8	0,86

Як видно з результатів таблиці із зростанням тривалості перехідного процесу зменшується перерегулювання і пропорційна складова ПІ-регулятора, але зростає інтегральна складова.

Зупинимось на налаштуваннях ПІ-регулятора, отриманих при найменшому часі перехідного процесу і збережемо їх натиснувши на кнопку «Update Block» у вікні налаштувань ПІ-регулятора «PID Tuner»:

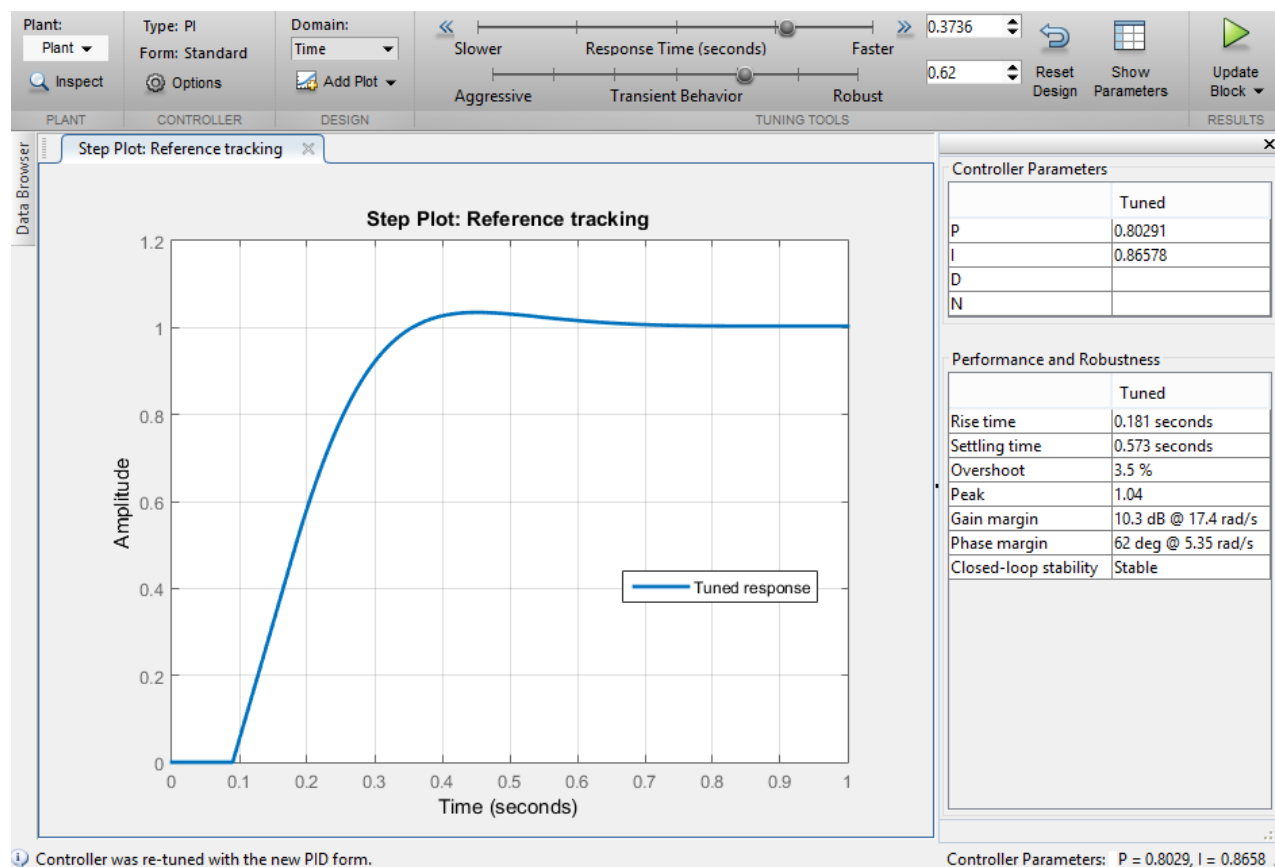


Рисунок 3.9 – Графік перехідного процесу з обраними налаштуваннями регулятора у вікні налаштувань ПІ-регулятора «PID Tuner»

Після цього, натиснувши на блок «Score» отримаємо зображення графіка перехідного процесу ОК з ПІ-регулятором, налаштованим у «PID Tuner»:

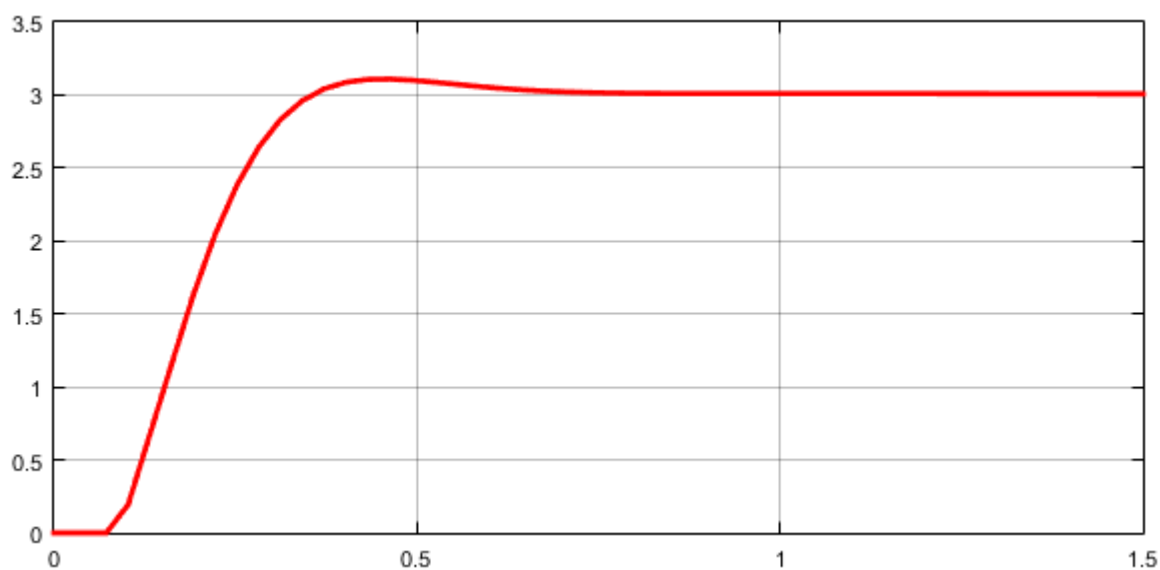


Рисунок 3.10 – Графік перехідного процесу ОК з ПІ-регулятором, налаштованим у «PID Tuner»

Для того щоб проаналізувати, який метод налаштувань найкраще підходить для налаштування системи керування з ПІ-регулятором, побудуємо графіки перехідних характеристик для замкненої системи з ПІ-регулятором, налаштованим вищезгаданими методами, а саме методом М-кола, методом Циглера-Нікольса та у програмному пакеті Simulink.

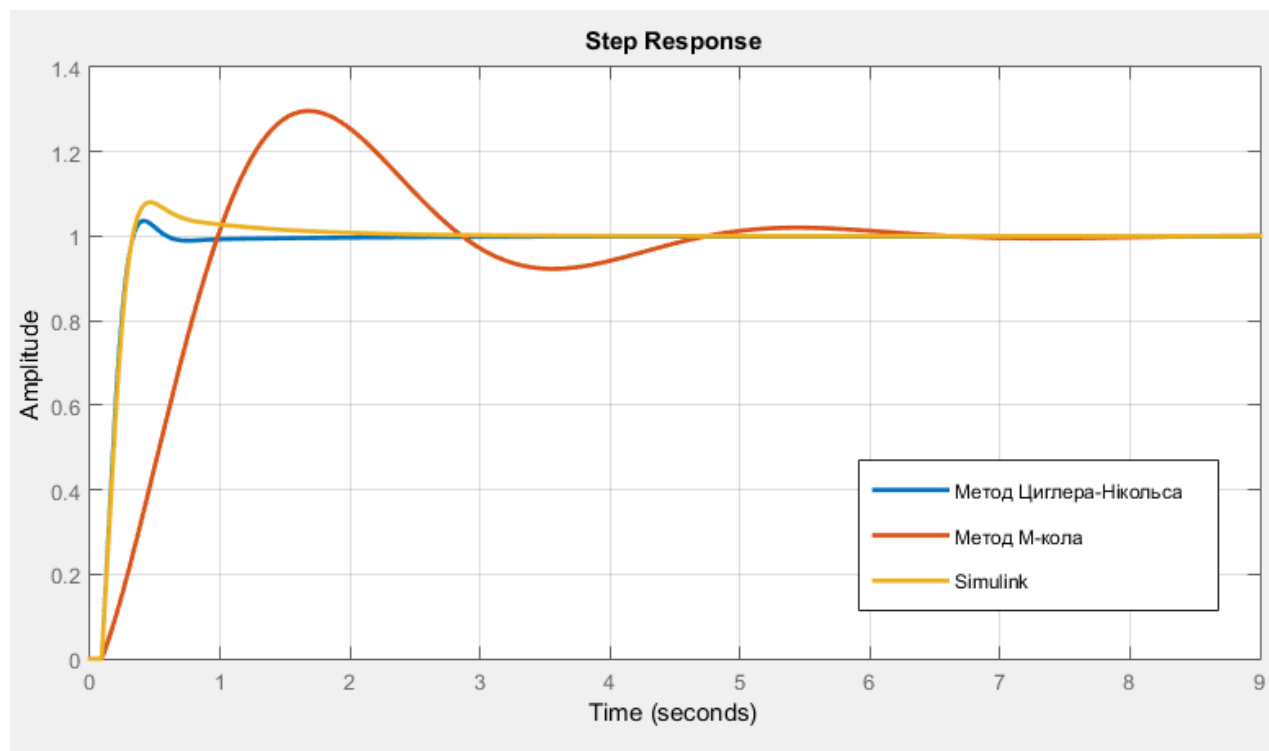


Рисунок 3.11 – Перехідні характеристики замкненої системи з ПІ-регулятором налаштованим трьома методами

Для того, щоб остаточно дослідити систему керування, необхідно перевірити її на стійкість.

### 3.3. Дослідження стійкості системи керування

Результати досліджень показали, що заданим вимогам до АСР найкраще відповідає система з регулятором, налаштованим методом Циглера-Нікольса, оскільки вона має найкращу швидкодію і мале перерегулювання при цьому. На другому місці виявилась система з регулятором, налаштованим у Simulink. Тому додатково перевіримо дані системи на стійкість, побудувавши для кожної з них годограф Найквіста. Для побудови розробимо програму у пакеті MATLAB. Вона виглядає наступним чином:

```

function GODO (Wo,P1,I1,P2,I2);
% Simulink
num1=[P1*I1 P1];
den1=[I1 0];
Wreg1=tf(num1,den1);
Wreg1.variable='s';
W1=Wreg1*Wo;

% Метод Циглера-Нікольса
num2=[P2*I2 P2];
den2=[I2 0];
Wreg2=tf(num2,den2);
Wreg2.variable='s';
W2=Wreg2*Wo;
nyquist (W1,W2)
axis ([-1.05 0.2 -0.5 0.4])

```

Застосуємо розроблену програму для нашого ОК:

GODO (Wp, 0.8, 0.86, 0.851, 1.32)

Результат роботи програми можна побачити на рис. 3.12 :

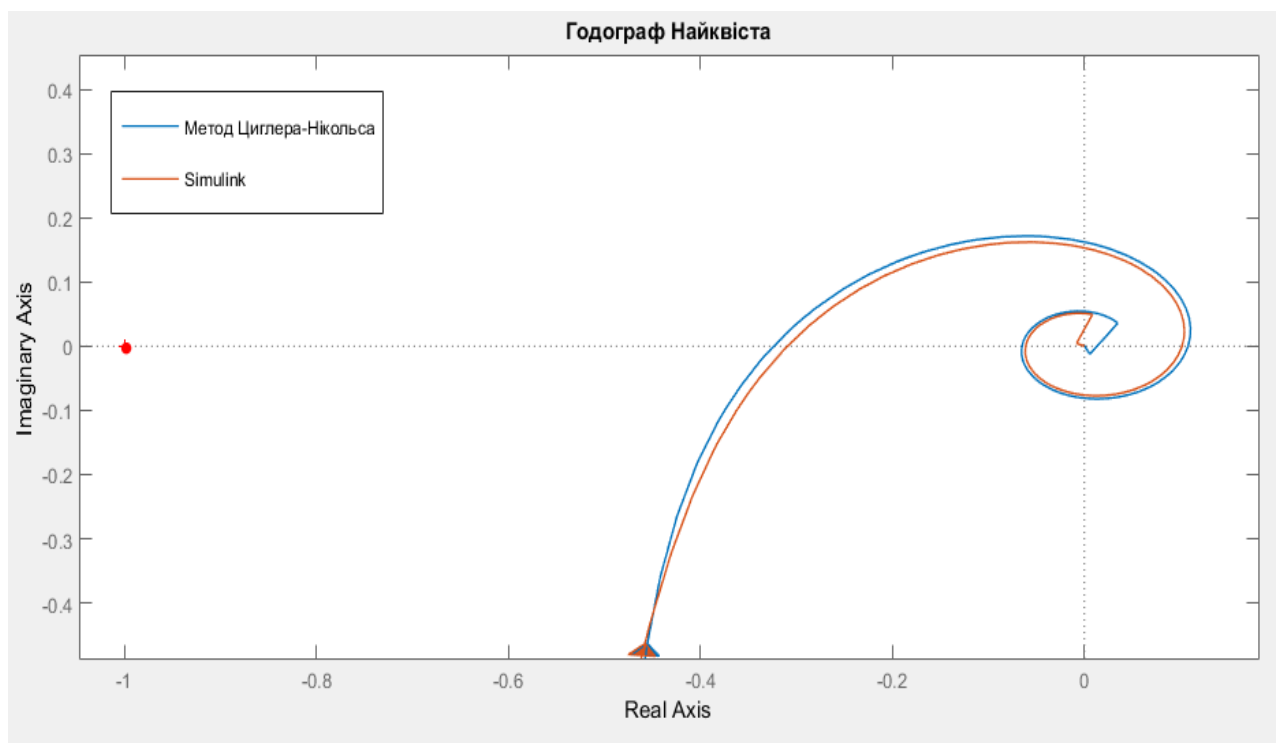


Рисунок 3.12 – Годографи Найквіста АСР з ПІ-регулятором, налаштованим у Simulink та методом Циглера-Нікольса



З отриманих годографів Найквіста, побудованих для систем з ПІ-регулятором, налаштованим у Simulink та методом Циглера-Нікольса, видно що обидві системи є стійкими, оскільки не охоплюють точку  $(-1;0i)$ . Можна сказати, що обидва методи налаштування ПІ-регулятора дають непогані результати якості перехідного процесу. За допомогою налаштованого вище згаданими методами ПІ-регулятора, зручно керувати роботою випарного реактора у процесі виробництва нітриту калію.

					ДП 5122.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4. Автоматизація процесу виробництва нітриту калію

##### 4.1. Аналіз основних параметрів виробництва

Слід передбачити автоматичний контроль таких параметрів:

- Рівень дистильованої води, що знаходиться у напірному баку (7 м);
- Температуру у реакторі первинного розкладання сировини (90 °С);
- Витрату пари, що надходить на вхід реактора первинного розкладання сировини (4 кг/сек);
- Рівень відфільтрованої речовини в нутч-фільтрі (5 м);
- Концентрацію  $\text{KNO}_2$  в нутч-фільтрі (у межах 56 %);
- Концентрацію  $\text{KNO}_2$  на виході з реактора первинного розкладання сировини (28 %);
- Концентрацію  $\text{KNO}_2$  на виході з реактора вторинного випарювання (70 %);
- Концентрацію  $\text{KNO}_2$  на виході з реактора кінцевого випарювання (95 %);
- Витрату пари, що надходить на вхід реактора вторинного випарювання (4,7 кг/сек);
- Витрату пари, що надходить на вхід реактора кінцевого випарювання (3 кг/сек);
- Температуру у реакторі вторинного випарювання (60...110 °С);
- Температуру у кристалізаторі (не вище 30 °С);
- Температуру у реакторі кінцевого випарювання 8 (70...138 °С);
- Тиск у реакторі кінцевого випарювання (9 МПа).

Результати повного аналізу наведені в таблиці 4.1.

					ДП 5122.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Параметри контролю виробництва

№	Найменування стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Найменування параметра	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація)
1	2	3	4	5
1.	Напірний бак, дистильована вода	Рівень	7 м	Вимірювання, індикація, реєстрація
2.	Реактор для обмінного розкладання сировини	Рівень	6,5 м	Вимірювання, індикація, регулювання
3.	Трубопровід, дистильована вода	Витрата	18 кг/сек	Вимірювання, індикація, реєстрація, сигналізація
4.	Трубопровід, розчин нітриту калію	Концентрація	28 %	Вимірювання, індикація, регулювання
5.	Трубопровід, пара	Витрата	4 кг/сек	Вимірювання, індикація, реєстрація,
6.	Реактор для обмінного розкладання сировини	Температура	90 °С	Вимірювання, індикація, реєстрація, сигналізація

1	2	3	4	5
7.	Нутч-фільтр, розчин нітриту калію	Рівень	5 м	Вимірювання, індикація, регулювання
8.	Нутч-фільтр, розчин нітриту калію	Концентрація	56 %	Вимірювання, індикація, реєстрація
9.	Трубопровід, розчин нітриту калію	Витрата	19,5 кг/с	Вимірювання, індикація, регулювання
10.	Реактор вторинного випарювання	Рівень	5 м	Вимірювання, індикація, реєстрація, сигналізація
11.	Реактор вторинного випарювання	Температура	60-110 °С	Вимірювання, індикація, реєстрація, сигналізація
12.	Трубопровід, розчин нітриту калію	Концентрація	70 %	Вимірювання, індикація, регулювання
13.	Трубопровід, пара	Витрата	4,7 кг/с	Вимірювання, індикація, реєстрація,
14.	Кристалізатор	Температура	30 °С	Вимірювання, індикація, реєстрація, сигналізація

1	2	3	4	5
15.	Реактор кінцевого випарювання	Рівень	5 м	Вимірювання, індикація, регулювання
16.	Трубопровід, розчин нітриту калію	Концентрація	95 %	Вимірювання, індикація, регулювання
17.	Трубопровід, пара	Витрата	3 кг/с	Вимірювання, індикація, реєстрація,
18.	Трубопровід, розчин нітриту калію	Витрата	16 кг/с	Вимірювання, індикація, реєстрація,
19.	Реактор кінцевого випарювання	Температура	70-138 °С	Вимірювання, індикація, реєстрація, сигналізація
20.	Центрифуга	Концентрація	98 %	Вимірювання, індикація, реєстрація
21.	Трубопровід, , розчин нітриту калію	Тиск	1,5 МПа	Вимірювання, індикація, реєстрація
22.	Реактор кінцевого випарювання	Тиск	9 МПа	Вимірювання, індикація, регулювання

## 4.2.Розробка схеми автоматизації

Схема автоматизації включає контури контролю і сигналізації.

Рівень води у нержавіючому напірному баку забезпечує контур 1 до нього входить рівнемір з пневматичним перетворювачем (1-1) (буйковий), а також вторинний прилад (1-2);

Рівень суміші у реакторі №1 регулюється контуром під номером 2 він включає: датчик рівня (2-1), також вторинний перетворювач сигналізатора рівня який знаходиться на позиції (2-2), регулятор мікропроцесорний розміщений на позиції (2-3); блок регулювання (ручний) розташований на позиції (2-4); електропневматичний перетворювач (2-5); і на позиції (2-6) знаходиться пневматичний клапан.

Контроль та сигналізацію витрати води в трубі на вході в реактор №1 забезпечує контур 3 він включає витратомір який знаходиться на позиції (3-1) також тензоперетворювач різниці тиску на позиції (3-2), автоматичний реєструвальний вторинний прилад який розташований на позиції (3-3) і лампу сигнальну червоного відтінку (HL3);

Регулювання концентрації  $KNO_2$  на виході з реактора №1 забезпечує контур 4 він включає концентратомір рідин який розташований на позиції (4-1); перетворювач високоомний (4-2) також мікропроцесорний регулятор (4-3) блок управління (ручного) знаходиться на позиції (4-4) ще також присутній електропневматичний перетворювач і регулюючий пневматичний клапан які знаходяться на позиції (4-5), (4-6) відповідно;

Контроль витрати пари в трубі на вході в реактор №1 забезпечує витратомір що знаходиться на позиції (5-1) також тензоперетворювач різниці тиску на позиції (5-2); автоматичний реєструвальний прилад знаходиться відповідно на позиції (5-3);

Контроль та сигналізацію температури в реакторі №1 забезпечує контур під номером 6 який включає ТО типу ТСМУ що знаходиться на позиції (6-1) також в контурі 6 автоматичний реєструвальний вторинний прилад

					ДП 5122.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розташованих на позиції (6-2); сигнальні лампи червоного та жовтого відтінку (HL5), (HL4) відповідно;

Рівень суміші у нутч-фільтрі забезпечує контур під номером 7 він включає акустичний датчик який знаходиться на позиції (7-1) також вторинний перетворювач рівня (7-2) мікропроцесорний регулятор розміщений на позиції (7-3); ручний блок управління (7-4); перетворювач електропневматичний (7-5) та регулюючий клапан (7-6);

Контроль концентрації  $\text{KNO}_2$  у нутч-фільтрі забезпечує контур 8 який включає концентратомір рідин який знаходиться на позиції (8-1) також перетворювач високоомний розташований на позиції (8-2) і автоматичний реєструвальний прилад на позиції (8-3);

Регулювання витрати суміші на вході у реактор № 2 забезпечує контур 9 який включає витратомір який знаходиться на позиції (9-1) також тензоперетворювач різниці тиску (9-2), мікропроцесорний регулятор який розташований на позиції (9-3); блок ручного управління (9-4); електропневматичний перетворювач і регулюючий пневматичний клапан які розташовані на позиції (9-5), (9-6) відповідно;

Рівень суміші у реакторі №2 регулюється контуром під номером 10 він включає: датчик рівня (10-1), також вторинний перетворювач сигналізатора рівня який знаходиться на позиції (10-2);, автоматичний реєструвальний прилад що знаходиться на позиції (10-3) і лампу сигнальну червоного кольору на позиції (HL10);

Контроль температури у реакторі №2 забезпечує контур 11 який включає ТО типу ТСМУ (11-1) також автоматичний реєструвальний прилад який знаходиться на позиції (11-2);

Регулювання концентрації  $\text{KNO}_2$  на виході з реактора №2 забезпечує він включає концентратомір рідин який розташований на позиції (12-1); перетворювач високоомний (12-2) також мікропроцесорний регулятор (12-3) блок управління (ручного) знаходиться на позиції (12-4) ще також присутні

					ДП 5122.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електропневматичний перетворювач і регулюючий пневматичний клапан які розташовані на позиції (12-5), (12-6) відповідно

Контроль витрати пари в трубі на вході в реактор №2 забезпечує витратомір що знаходиться на позиції (13-1) також тензоперетворювач різниці тиску на позиції (13-2); автоматичний реєструвальний прилад знаходиться відповідно на позиції (13-3);

Контроль та сигналізацію температури в реакторі №2 забезпечує контур 14 який включає ТО типу ТСМУ який знаходиться на позиції (14-1) також в контурі є автоматичний реєструвальний прилад розташований на позиції (14-2); сигнальна лампа червоного кольору (HL11), (HL4).

Рівень суміші у реакторі №3 регулюється контуром під номером 15 він включає: датчик рівня (15-1), також вторинний перетворювач сигналізатора рівня який знаходиться на позиції (15-2), регулятор мікропроцесорний розміщений на позиції (15-3); блок регулювання (ручний) розташований на позиції (15-4); електропневматичний перетворювач (15-5); і на позиції (15-6) знаходиться пневматичний клапан

Рівень суміші у реакторі №3 регулюється контуром під номером 16 він включає: датчик рівня (216-1), також вторинний перетворювач сигналізатора рівня який знаходиться на позиції (16-2), регулятор мікропроцесорний розміщений на позиції (16-3); блок регулювання (ручний) розташований на позиції (16-4); електропневматичний перетворювач (16-5); і на позиції (16-6) знаходиться пневматичний клапан

Контроль витрати пари в трубі на вході в реактор №3 забезпечує витратомір що знаходиться на позиції (17-1) також тензоперетворювач різниці тиску на позиції (17-2); автоматичний реєструвальний прилад знаходиться відповідно на позиції (17-3);

Контроль суміші в трубі на вході в реактор №3 забезпечує контур 18 який включає: витратомір який розташований на позиції (18-1) також тензоперетворювач різниці тиску (18-2) і автоматичний реєструвальний вторинний прилад (18-3);

					ДП 5122.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Контроль та сигналізацію температури в реакторі №3 забезпечує контур 19 який включає ТО типу ТСМУ який знаходиться на позиції (19-1) також в контурі є автоматичний реєструвальний прилад розташований на позиції (19-2); сигнальні лампи червоного та жовтого кольору (HL13), (HL12) відповідно.

Контроль концентрації  $KNO_2$  на виході з центрифуги забезпечує контур під номером 20 який включає в себе концентратомір який знаходиться на позиції (20-1); перетворювач високоомний що знаходиться на позиції (20-2); автоматичний реєструвальний прилад на позиції (20-3) відповідно;

Контроль тиску на виході з рамного фільтр-преса забезпечує контур під номером 21 який себе включає вимірювальний тензоперетворювач тиску (21-1) і також автоматичний реєструвальний прилад на позиції (21-2);

Регулювання та сигналізація тиску в реакторі №3 забезпечує контур під номером 22 який включає вимірювальний тензоперетворювач тиску (22-1) також мікропроцесорний регулятор (22-2), блок управління який розташований на позиції (22-3) і електропневматичний перетворювач та ірегулюючий пневматичний клапан які знаходяться на позиціях (22-4) і (22-5) відповідно

					ДП 5122.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 4.3. Розробка схеми керування електродвигунами

Розглянемо постановку задачі по керуванню роботою електродвигунів в схемі технологічного процесу виробництва нітриту калію

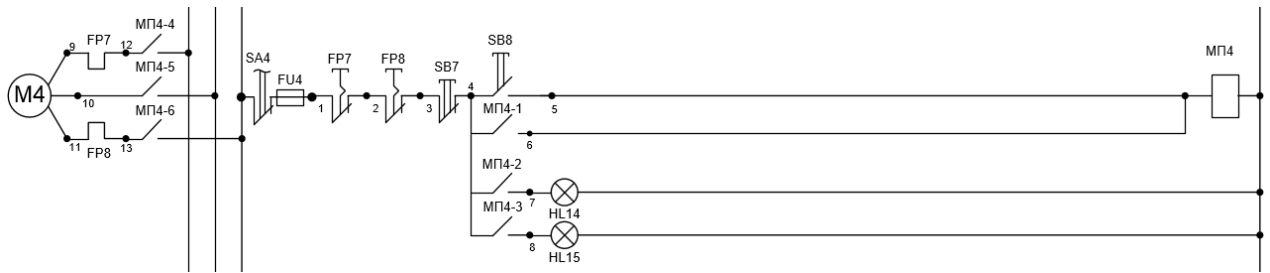


Рисунок 4.1 – Принципова електрична схема керування роботою електродвигуна

При натисканні кнопки включення електродвигуна спрацьовує магнітний пускач, далі нормально розімкнутим контактом замикається ланцюг цього магнітного пускача. Замикаються також контакт сигналізації вмикання магнітного пускача і три контакти живлення електродвигуна. У той же час, розмикається нормально розімкнутий контакт сигналізації вимкнення магнітного пускача. Захист електродвигуна передбачає термічний захист, що дозволяє відключити двигун при перегріванні, а також плавкий запобіжник.

На принциповій електричній схемі креслення ДР 2122.02.000.СхЕ показана схема керування роботою електродвигунів .

На цій схемі показано, магнітні пускачі що використовуються для вмикання і вимикання живлення електродвигунів – МП1, МП2, МП3, МП4.

Для захисту використовуються автоматичні вимикачі живлення електродвигунів ,які запобігають перевантаженню і короткому замиканню— FP1, FP2, FP3, FP4, FP5, FP6, FP7, FP8.

Щоб не допустити згорання магнітних пускачів в ланцюги струму підключаються плавкі запобіжники – FU1, FU2, FU3, FU4.

Щоб вимкнути живлення вмонтовуються кнопки вимикання живлення електродвигунів – SB1, SB3, SB5, SB7. Для зворотної процедури ,а саме , включення живлення встановлюються кнопки вмикання живлення електродвигунів – SB2, SB4, SB6, SB8.

Для сигналізації встановлюються лампочки зеленого кольору (включені двигуни) – HL1, HL3, HL5, HL7.

Для сигналізації встановлюються лампочки червоного кольору (вимкнуті двигуни) – HL2, HL4, HL6, HL8.

## 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності .

Мета охорони праці – забезпечення безпечних, нешкідливих і сприятливих умов праці через вирішення багатьох складних завдань.

Темою дипломного проекту є «Автоматизація процесу виробництва нітриту калію». В даному процесі маємо справу із парою, високою температурою і різноманітними хімічними речовинами, що являються відходами в процесі виробництва та установками, що працюють під тиском. Тому для забезпечення безпеки потрібно строго виконувати заданий режим, безперервно слідкувати за роботою апаратури, забороняється залишати її без нагляду.

При обслуговуванні системи автоматизації, оператор знаходиться в операторській. Площа операторської 15 м<sup>2</sup>, висота 3 м, тобто V=45м<sup>2</sup>, в ній працює 3 оператора.

На робочому місці оператора наявні наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- повітря робочої зони;
- виробниче освітлення;
- електробезпека;
- пожежна безпека.

### 6.1 Повітря робочої зони

Речовини що являються відходами в процесі виробництва нітриту калію є в тій чи іншій мірі *шкідливими (або виробничими отрутами)*.

Патологічні процеси, що розвиваються під дією виробничих отрут, спричиняють в організмі людини до порушення функціонального і структурного стану, необхідного для його нормальної життєдіяльності.

					ДП 5122.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Характер і ступінь таких змін під дією отрути обумовлений їх концентрацією (дозою), часом дії і періодом виведення (елюмінації) з організму. Токсичний ефект хімічних речовин залежить від індивідуальних властивостей особистості, що визначається станом здоров'я людини.

Промислові отрути можуть чинити на організм людини як місцеву, так і загальну дію.

*ГДК<sub>рз</sub>* – це максимальна концентрація, що при щоденній (крім вихідних днів) роботі у продовження 8 год чи при іншій тривалості, але не більш 41 год у тиждень, протягом усього стажу (25 років) не може викликати захворювань чи відхилень стану здоров'я, що виявляються сучасними методами досліджень у процесі роботи чи у віддалений період життя сучасного і наступних поколінь.

ГДК парів отруйних речовин, що виділяються під час виробництва, складає 10 мг/м<sup>3</sup>. Фактична ж концентрація цих парів дорівнює 6 мг/м<sup>3</sup>. Це відповідає ГОСТ 12.1.005-88/98.

Для запобігання професійним отруєнням служать технологічні, технічні, санітарно-гігієнічні та лікувально-профілактичні заходи та засоби. Радикальним способом захисту є заміна отруйних неотруйними або менш токсичними речовинами, дотримання правил безпеки і виробничої санітарії, введення нових технологій, санітарно-гігієнічна експертиза хімічних речовин, їх гігієнічна стандартизація, комплексна механізація та автоматизація виробничих процесів.

Ефективним заходом профілактики на виробництвах, де використовують високо-отруйні речовини, є впровадження дистанційного управління або безперервності технологічних процесів, за рахунок яких усувається порушення герметичності обладнання.

Суттєво впливають на рівень професійної токсикології санітарно-гігієнічні засоби: обладнання ефективної природної та штучної припливно-витяжної вентиляції, а в разі потреби - аварійної механічної вентиляції, розробка і впровадження систем кондиціонування повітря з використанням

					ДП 5122.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматичної і контрольно-вимірювальної апаратури, яка сигналізує про наявність шкідливих речовин у повітрі робочої зони.

До лікувально-профілактичних заходів належить обов'язкова реєстрація всіх випадків професійних отруєнь та їх розслідування з метою виявлення та усунення їх причин. Обов'язкові попередні й наступні медичні огляди, результати яких є підставою для розробки відповідних заходів запобігання та переведення працівників на іншу роботу і спеціального лікування.

Серед організаційних заходів законодавчо передбачена скорочена тривалість робочого дня, додаткові відпустки, безплатне спеціальне й лікувально-профілактичне харчування, підвищений рівень заробітної плати, скорочений термін виходу на пенсію.

За станом повітря виробничої зони необхідно здійснювати систематичний контроль з метою порівняння його з гігієнічними нормативами. Крім наведеного роботодавець має забезпечувати всіх працюючих ЗІЗ органів дихання, спеціальним одягом, спеціальним взуттям, засобами захисту рук, обличчя, очей.

Для очищення робочого середовища від шкідливих речовин що можуть у нього потрапляти, а також для подачі свіжого повітря використовується *припливно-витяжна вентиляція*.

*Засоби індивідуального захисту* є допоміжною мірою захисту працівників цеху від шкідливої дії професійних факторів. Для захисту дихальних шляхів використовують *протигази ИП-4М*. Для захисту очей використовуються *захисні окуляри*.

Працівники отримують захисний одяг – індивідуальний спецодяг – від впливу продуктів, газів, високих та низьких температур:

- бавовняні костюми ;
- рукавиці спеціальні , гумові технічні рукавички ;
- захисні окуляри ;
- захисні каски ;
- захисні щитки лицьові ;

Знаходження обслуговуючого персоналу на робочому місці без спецодягу заборонено.

Індивідуальні фільтруючі протигази зберігаються в спеціальних шафах з комірками. Передача протигаза однією особою іншій забороняється.

До засобів нормалізації освітлення виробничих приміщень і робочих місць ставляться освітлювальні прилади, світлові прорізи.

Додатково до технологічних заходів системами опалення й вентиляції повітряне середовище в приміщеннях доводиться до вимог санітарних норм і правил техніки безпеки.

Опалення виробничих приміщень – повітряне, сполучене із проточною вентиляцією.

Показниками, що характеризують мікроклімат, є:

- 1) температура повітря;
- 2) відносна вологість повітря;
- 3) швидкість руху повітря;
- 4) інтенсивність теплового випромінювання.

Фактичні метеорологічні умови в операторській для роботи середньої важкості.

- Температура повітря, °С

Перехідний та холодний період року – 18-24 °С.

Теплий період року – 19-28 °С.

Фактичні метеорологічні умови – 21-24 °С.

- Відносна вологість повітря, %

Холодний період року – 45-65 %.

Теплий період року – 40-75 %.

Фактичні метеорологічні умови – 35-60 %.

- Швидкість руху повітря, м/с

Холодний період року – 0,15 м/с.

Теплий період року – 0,25 м/с.

Фактичні метеорологічні умови – 0,08м/с.

					ДП 5122.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Всі метеорологічні умови повністю відповідають ДСН 3.3.6.042-99.

## 6.2 Виробниче освітлення

У денний час в операторській передбачене денне освітлення згідно ДНБ В 25.28-2006. Роботи, виконувані в операторській, пов'язані зі зняттям показань з контрольно-вимірювальної апаратури, відносяться до III розряду зорових робіт.

У приміщенні КВП (контроль вимірювальних пристроїв) є вікна розміром 3300x2300 мм. Вони забезпечують значення коефіцієнта природного освітлення 8 - 10 %.

Коефіцієнт природного освітлення для даного розряду робіт при верхньому і комбінованому освітленні складає 8 %. Отже, фактичне значення КПО відповідає нормам.

У темний час доби використовують штучне освітлення. Для забезпечення освітленості, відповідної III розряду зорових робіт при газорозрядних лампах, використаємо лампи ЛДЦ15-4, які мають освітленість  $E_n=250$  Лк, світловий потік  $F_d=2800$  Лм.

Поставимо 9 світильників, що забезпечать освітленість приміщення для даного розряду зорових робіт. При цьому  $E_{\text{факт}}=275$  Лк.  $E_{\text{нор}}=250$  Лк.

Освітленість приміщення відповідає нормам відповідно до ДНБ В 25.28-2006.

## 6.3 Електробезпека

Відповідно до правил улаштування електроустановок цех виробництва за небезпекою електротравм відноситься до приміщення з підвищеною небезпекою.

В приміщенні застосовується трифазна чотирипровідна мережа напругою 380 В з глухозаземленою нейтраллю та частотою 50 Гц. У цьому випадку захисне заземлення не є досить надійним захистом щодо профілактики електротравм. Більш ефективним засобом попередження електротравм при замиканні на корпус у даному випадку вважається занулення – навмисне

					ДП 5122.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



електричне з'єднання неструмовідних елементів електроустановки, які можуть опинитися під напругою в результаті замикання на корпус, з нульовим проводом.

*Система технічних засобів і заходів з електробезпеки.*

Основні технічні засоби і заходи що застосовуються для забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок в цеху включають:

- *ізоляція струмовідних частин* - забезпечує технічну працездатність електроустановок, зменшує вірогідність попадань людини під напругу, замикань на землю і на корпус електроустановок;

- *недоступність струмовідних частин* – застосовуються захисні огороження, закриті комутаційні апарати, неізольовані струмовідні частини розміщуються на висоті, недосяжній для ненавмисного доторкання до них інструментом, різного роду пристосуваннями, обмежується доступ сторонніх осіб в електротехнічні приміщення;

- *блоківки безпеки* - унеможливлюють доступ до неізольованих струмовідних частин без попереднього зняття з них напруги, попереджують помилкові оперативні та керуючі дії персоналу при експлуатації електроустановок, не допускають порушення рівня електробезпеки та вибухозахисту електрообладнання;

- *засоби орієнтації в електроустановках* - дають можливість персоналу чітко орієнтуватися при монтажі, виконанні ремонтних робіт і запобігають помилковим діям.

*Система електрозахисних засобів.*

Основні електрозахисні засоби для роботи з електричним обладнанням в цеху:

- ізолювальні штанги;
- ізолювальні кліщі;
- електровимірювальні кліщі;
- показчики напруги;

- діелектричні рукавички;
- інструмент з ізолювальним покриттям;
- діелектричне взуття;
- сигналізатори напруги;
- захисні огороження (щити, ширми);
- переносні заземлення;
- в аварійному режимі використовується занулення з автоматичним відключенням згідно ГОСТ 12.1.030-84.

#### 6.4 Пожежна безпека

При обслуговуванні системи автоматизації процесу виробництва нітриту калію, оператор знаходиться в операторській, в якій, окрім виробничого обладнання, знаходяться робочі місця операторів (стільці та столи), необхідна документація, а також можуть знаходитися особисті речі операторів. Площа операторської 15 м<sup>2</sup>, висота 3 м, в ній працює 3 оператора. Тому, приміщення відповідає класу В, зона П-ІІА.

У цеху підвищена пожежна небезпека відсутня, так як в процесі не використовуються легкозаймисті та вибухонебезпечні речовини, але повинна існувати система попередження вибухів і пожеж.

*Система попередження вибухів і пожеж.*

Попередження утворення пожежі в цеху забезпечується наступними загальними заходами:

- підтримуються відповідні значення температур та тиску середовища, за яких поширення полум'я виключається;
- максимально механізовані та автоматизовані технологічні процеси;
- видаляються пожежонебезпечні відходи виробництва.
- використовуються машини, механізми, устаткування, пристрої, при експлуатації яких не утворюються джерела запалювання;
- використовуються швидкодійні засоби захисного відключення можливих джерел запалювання;

- використовуються технологічні процеси і устаткування, що задовольняє вимогам статичної іскробезпеки;
- температури нагріву поверхні машин, устаткування, пристроїв, речовин і матеріалів, які можуть увійти в контакт з горючим середовищем, підтримуються нижче гранично допустимої, яка не повинна перевищувати 80% температури самозаймання горючого середовища;
- виключається можливість появи іскрового розряду в горючому середовищі з енергією, яка дорівнює або перевищує мінімальну енергію запалювання;
- використовується інструмент, робочий одяг і взуття, які не викликають іскроутворення при виконанні робіт;
- виконуються вимоги чинних стандартів, норм та правил пожежної безпеки;
- використовується електроустаткування, що відповідає за своїм виконанням пожежонебезпечним та вибухонебезпечним зонам, групам та категоріям вибухонебезпечних сумішей.
- використовуються порошкові засоби пожежогасіння САМ-9.
- для захисту органів дихання використовуються повітряні апарати МПА.

## Висновки

В даному дипломному проекті бакалавра розроблена схема автоматизації процесу виробництва нітриту калію, передбачена комп'ютерно-інтегрована система керування, виконано розрахунок витратоміра змінного перепаду. Одним з основних технологічних апаратів являється випарний реактор. Для даного апарату розроблена математична модель, як об'єкта керування. Показані входи і виходи в апарат, класифікація об'єкта і побудова динамічних і статичних характеристик апарату ко каналам керування та збурення.

На основі математичної моделі і динамічних характеристик декількома методами було проведено розрахунок регулятора. Також розроблені наступні креслення: схема автоматизації, принципова електрична схема з дистанційного керування двигунів. В розділі охорони праці проведено аналіз небезпечних факторів, присутніх на виробництві.

При виконанні дипломного проекту та оформлення проектної документації застосовано програмні середовища MS Office 2013, Visio 2013, MathCAD 15, MATLAB 2014.

					ДП 5122.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Література

1. Лукінюк М.В. Технологічні вимірювання та прилади : Навч. посіб. для курс. проектування. К.: "ПОЛПАРНАС" , 2002. - 257с: іл.
2. Бабіченко А.К., Тушинський В.І., Михайлов В.С. Промислові засоби автоматизації. Ч. 1. Вимірювальні пристрої / За заг. ред. Бабіченка А.К.: Навч. посібник. - Харків: НТУ "ХПГ, 2001 р. - 470 с.
3. А.И. Емельянов, О.В. Капник «Проектирование автоматизированных систем управления технологическими процессами», Москва «Энергия», 1974г.
4. Ключев А. С. «Проектирование систем автоматизации технологических процессов». Справочное пособие - М.: Машиностроение, 1980. - с. 214.
5. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. – Москва «Химия», 1995. – 260с.
6. Основные процессы и аппараты химической технологии: Касаткин А.Г. - Москва, 1988. - 832с;
7. Жученко А. І., Кваско М.З., Кубрак Н. А. Ідентифікація динамічних характеристик. Комп'ютерні методи. К.:ВІПОЛ, 2000. – 182с., іл.
8. Симановский А. Ю. Методика настройки регуляторов. Инструкция. – К.: МИКРОЛ, 2004. – 64с.
9. Збожна О.М. Технологія: Навчальний посібник. 1998р.
10. Конюх В.Л. Компьютерная автоматизация в промышленности.

# Специфікація устаткування, виробів та матеріалів

## Додаток 1

Позиція на схемі	Назва параметра	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва, технічна характеристика	Тип, марка моделі	Завод-виробник	Кількість, од.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Устаткування та прилади								
1-А	Рівень	Напірний бак, вода	7 м	Напірний бак;	Рівнемір буйковий з пневматичним передавальним перетворювачем, $L_{\max} = 8$ м, $P_{\text{доп}} = 4$ МПа, $P_{\text{вих}} = 20 \div 100$ кПа	УБ-ПВ	ВАТ «Теплоприбор», м. Рязань	1
1-Б	Рівень	— " —	— " —	Щит керування	Прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний зі станцією керування $P_{\text{вх}} = 20 \div 100$ кПа	ФК0071	АТ «Тизприбор», м. Москва	1
2-А	Рівень	Реактор для обмінного розкладання сировини	6,5 м	Реактор для обмінного розкладання сировини	Акустичний рівнемір ЭХО-5М ультразвукового сигналізатора рівня УЗС-300 граничні значення рівня 80...7000 мм, $P_{\max} = 1,6$ МПа, похибка $\pm 2$ мм	АП-91	ВАТ «Теплоприбор», м. Рязань	4
7-А	Рівень	Нутч-фільтр	5 м	Нутч-фільтр				
10-А	Рівень	Реактор вторинного випарювання	5 м	Реактор вторинного випарювання				
15-А	Рівень	Реактор кінцевого випарювання	5 м	Реактор кінцевого випарювання				

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 5122.00.000

Арк.

1

5-А	Витрата	Трубопровід, пара	4 кг/сек	Трубопровід 2;	Діафрагма камерна, $P_y = 2,5$ МПа, внутрішній діаметр трубопроводів 125 мм	ДКС2,5-125	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ	6
3-А	Витрата	Трубопровід, вода	18 кг/сек	Трубопровід 1;				
9-А	Витрата	Трубопровід, неконцентрований розчин нітриту калію	19,5 кг/сек	Трубопровід 31;				
13-А	Витрата	Трубопровід, пара	4,7 кг/сек	Трубопровід 2;				
17-А	Витрата	Трубопровід, пара	3 кг/сек	Трубопровід 2;				
18-А	Витрата	Трубопровід, освітлений розчин нітриту калію	16 кг/сек	Трубопровід 32;				
4-А	Концентрація	Трубопровід, суміш	28 %	Трубопровід 30;	Концентратомір рідин кондуктометричний у складі первинного вимірювального перетворювача та блока обробки, індикації та сигналізації, $I_{вих} = 4 \dots 20$ мА; цифровий інтерфейс RS-485	АЖК-3101М.К	НПО «Лаборкомплект», м. Москва	5
8-А	Концентрація	Нутч-фільтр	56 %	Нутч-фільтр				
12-А	Концентрація	Трубопровід, суміш	70 %	Трубопровід 30;				
16-А	Концентрація	Трубопровід, концентрований	95 %	Трубопровід 28;				

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 5122.00.000

Арк.

2

		розчин нітриту калію						
20-A	Концентрація	Центрифуга	98 %	Центрифуга				
6-A	Температура	Реактор первинного розкладання сировини	90 °C	Місцевий	Термоперетворювач опору типу ТСМУ з уніфікованим вихідним сигналом, гранично допустима похибка 1 %, діапазон вимірювання 0...200 °C,	ТСМУ-0288	НВО «Електротермія», м. Луцьк	4
11-A	Температура	Реактор вторинного випарювання	60...110 °C	Місцевий				
14-A	Температура	Кристалізатор	30 °C	Місцевий				
19-A	Температура	Реактор кінцевого випарювання	70...138 °C	Місцевий				
21-A	Тиск	Трубопровід	1,5 МПа	Трубопровід 32;	Пневмоелектричний перетворювач ПЕП-11 Вихідний сигнал: аналоговий 4-20 мА; Напруга живлення: 24В	ПЕП-11	МІКРОЛ м. Івано-Франківськ	2
22-A	Тиск	Реактор кінцевого випарювання	9 МПа	Місцевий				
2-Б	Рівень	Реактор для обмінного розкладання сировини	___ " ___	Місцевий	Вторинний перетворювач рівня ультразвукового УЗС 300 іскробезпечного виконання; вихідні сигнали: релейний, світлова індикація	ПШИ-5Н	ВАТ «Старорусьприбор, м. Стара Русса	4
7-Б	Рівень	Нутч-фільтр	___ " ___	Місцевий				
10-Б	Рівень	Реактор вторинного випарювання	___ " ___	Місцевий				

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 5122.00.000

Арк.

3



15-Б	Рівень	Реактор кінцевого випарювання	___ " ___	Місцевий				
5-Б	Витрата	Трубопровід, пара	___ " ___	Місцевий	Тензоперетворювач різниці тиску з квадратичною функцією перетворення, гранично допустима похибка $\pm 0,25$ %, $I_{\text{вих}} = 4 \dots 20$ мА	Сапфір 22ДД 2450	ВАТ «Промприлад», м. Івано- Франківськ	6
3-Б	Витрата	Трубопровід, вода	___ " ___	Місцевий				
9-Б	Витрата	Трубопровід, неконцентровани й розчин нітриту калію	___ " ___	Місцевий				
13-Б	Витрата	Трубопровід, пара	___ " ___	Місцевий				
17-Б	Витрата	Трубопровід, пара	___ " ___	Місцевий				
18-Б	Витрата	Трубопровід, освітлений розчин нітриту калію	___ " ___	Місцевий				
4-Б	Концентрація	Трубопровід, суміш	___ " ___	Місцевий	Перетворювач високоомний, $I_{\text{вих}} = 0 \div 5$ мА	П-201	Гомельський завод вимірювальних приладів, м. Гомель	5
8-Б	Концентрація	Нутч-фільтр	___ " ___	Місцевий				
12-Б	Концентрація	Трубопровід, суміш	___ " ___	Місцевий				
16-Б	Концентрація	Трубопровід, концентрований розчин нітриту калію	___ " ___	Місцевий				
20-Б	Концентрація	Центрифуга	___ " ___	Місцевий				

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 5122.00.000

Арк.

4

6-Б	Температура	___ " ___	___ " ___	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад, $I_{вх}=0...5$ мА, 4...20 мА,	ДИСК-250	ЗАТ «Промислова група „Метран”», м. Челябінськ	4
11-Б	Температура	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
14-Б	Температура	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
19-Б	Температура	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
21-Б	Тиск	___ " ___	___ " ___	Щит керування	Індикатор технологічний мікропроцесорний Період вимірювання: 0.1сек; Вхідний сигнал: 4-20мА; Вихідний сигнал: аналоговий 4-20 мА та 2-а дискретних; Похибка вимірювання: 0.2%	ІТМ-11	МІКРОЛ м. Івано-Франківськ	1
2-В	Рівень	___ " ___	___ " ___	Щит керування	Мікропроцесорний регулятор вихідний сигнал $I_{вих}=0...5$ мА $U_{вих}=24$ В	МІК-51	Підприємство «МІКРОЛ», м. Івано-Франківськ	8
4-В	Концентрація	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
7-В	Рівень	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
9-В	Витрата	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
12-В	Концентрація	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
15-В	Рівень	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
16-В	Концентрація	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
22-Б	Тиск	___ " ___	___ " ___	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад із вбудованою функцією сигналізації, $I_{вх}=0...5$ мА,	ДИСК-250	ЗАТ «Промислова група „Метран”», м. Челябінськ	8
3-В	Витрата	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
5-В	Витрата	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
8-В	Концентрація	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
10-В	Рівень	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
13-В	Витрата	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
17-В	Витрата	___ " ___	___ " ___	Щит керування				

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 5122.00.000

Арк.

5

18-В	Витрата	___ " ___	___ " ___	Щит керування	4...20 мА,			
20-В	Концентрація	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
2-Г	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування	Блок ручного управління, вхідні сигнали: 0...5 мА, 0...10 В, 4...20 мА, цифровий інтерфейс RS-485	БРУ-7К1	Підприємство «МІКРОЛ», м. Івано-Франківськ	8
4-Г	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
7-Г	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
9-Г	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
12-Г	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
15-Г	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
16-Г	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
22-В	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування				
2-Д	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Місцевий	Перетворювач електропневматичний, $I_{вх} = 0...5$ мА, $P_{вих} = 20...100$ кПа	MTM 810	НВП «Мікротерм», м. Сіверодонецьк	8
4-Д	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Місцевий				
7-Д	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Місцевий				
9-Д	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Місцевий				
12-Д	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Місцевий				
15-Д	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Місцевий				
16-Д	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Місцевий				
22-Г	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Місцевий				
2-Е	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Місцевий	Клапан регулюючий пневматичний, нормально закритий з опозиціонером, вх.сигнал 0...5 мА, 4...20 мА ,	ADCATROL PV253G DN15- 150	АО «Иримэкс», м. Москва	
4-Е	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Місцевий				
7-Е	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Місцевий				
9-Е	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Місцевий				
12-Е	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Місцевий				
15-Е	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Місцевий				
16-Е	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Місцевий				
22-Д	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Місцевий				
Електроапарати								

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 5122.00.000

Арк.

6

SB1, SB2, SB3, SB4, SB5, SB6, SB7, SB8,	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування	Кнопковий пост керування	КУ-92- 1EXD11BT5	Трест «Променергоавтома тика», м. Київ	8
МП2	___ " ___	Насос	___ " ___	Місцевий	Пускач безконтактний реверсивний	ПБР-3А	ВО «Электроприбор», м.Чебоксари	4
МП1, МП3, МП4	___ " ___	Мішалка	___ " ___					
SA1, SA2, SA3, SA4	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Місцевий	Кнопка запобіжного відмикання	КМЕ-5111У	-	4
HL1... HL15	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування	Лампа електрична сигнальна	ЛС-151	Трест «Промене- ргоавтоматика», м. Київ	15

					ДП 5122.00.000	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7